

DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA DETECCIÓN DE IMPUREZAS EN
CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA POR MEDIO DE VISIÓN ARTIFICIAL

HENDERSON YHARDANY SOTELO SEPÚLVEDA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2018

DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA DETECCIÓN DE IMPUREZAS EN
CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA POR MEDIO DE VISIÓN ARTIFICIAL

HENDERSON YHARDANY SOTELO SEPÚLVEDA

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD:
MONOGRAFÍA

DIRECTOR: MSC. FABIÁN ROLANDO JIMÉNEZ LÓPEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2018

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Tunja, Mayo de 2018

CONTENIDO

	Pág.
1. OBJETIVOS	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION.....	13
3. MARCO TEÓRICO.....	14
3.1 Definición de visión artificial.....	14
3.2 Elementos de la percepción visual	16
3.3 Formación de imágenes en el ojo.....	17
3.4 Formatos de Color.....	18
3.4.1 Formato RGB	19
3.4.2 Formato CMY y CMYK.....	20
3.5 Definición matemática de una imagen	21
3.6 Resolución.....	22
3.4.1 Resolución espacial.....	22
3.4.2 Resolución temporal	23
3.4.3 Resolución radiométrica	24
3.7 Sensores de imagen.....	25
3.8 Patch cord de fibra óptica	26
3.8.1 Partes de un conector de fibra óptica	27
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	28
4.1 Especificaciones requeridas según Norma CEI 61300-3-35	28
4.2 Diseño general	31
4.3 Selección de la plataforma de software	33

4.4 Selección del sensor de imagen	36
4.5 Desarrollo de algoritmo por comparación de histogramas	36
4.6 Desarrollo de algoritmo con umbralización adaptativa	40
4.6.1 Detección de impurezas pit.....	44
4.6.2 Detección de scratches de más de 40µm	44
4.6.3 Detección si la impureza toca el núcleo	44
4.7 Interfaz de Usuario del software	45
5. RESULTADOS.....	48
5.1 Análisis de tiempos	48
5.2 Análisis de eficiencia del sistema	49
6. CONSLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56
INFOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Selección de entornos de desarrollo integrado.....	34
Tabla 2. Tiempo de inspección técnico de producción vs. Sistema de visión artificial.....	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama simplificado del ojo humano.....	16
Figura 2. Ejemplo cálculo del tamaño del objeto formado en la retina.....	18
Figura 3. Espacio de color RGB.....	19
Figura 4. Superficies sustractoras.....	20
Figura 5. Color negro impreso en formato CMY vs CMYK	21
Figura 6. Imagen Binaria y su matriz de pixeles.....	22
Figura 7. Imagen descrita con diferentes resoluciones espaciales.....	23
Figura 8. Niveles de intensidad según el número de bits por pixel.....	24
Figura 9. Tipos de sensores, sencillo, en línea y en arreglo matricial.....	25
Figura 10. Tipos de conectores de los Patch cords.....	26
Figura 11. Partes de un conector de fibra óptica.....	27
Figura 12. Presencia de pits claros y oscuros	28
Figura 13. Presencia de bordes pronunciados	29
Figura 14. Presencia de Scratch de más de 40 μm de longitud	29
Figura 15. Arquitectura y secuencia del sistema implementado.....	31
Figura 16. Microscopio DOMAINELLE ENGINEERING, Modelo DE2503	32
Figura 17. Render del sistema de detección	32
Figura 18. Microsoft LifeCam HD-6000.....	36
Figura 19. Algoritmo basado en la comparación de histogramas	37
Figura 20. Imagen patrón, capturada en laboratorio	38
Figura 21. Transformada de Hough para la detección de círculos	39
Figura 22. Imagen normalizada con tolerancia de 10px	39
Figura 23. Cálculo de histogramas de la imagen patrón y la imagen objeto de análisis ..	40
Figura 24. Diagrama de flujo algoritmo basado en umbralización adaptativa	41

Figura 25. Enmascaramiento de la imagen.....	42
Figura 26. Umbralización global de una imagen con threshold de 127	43
Figura 27. Umbralización adaptativa aplicada a la imagen enmascarada	43
Figura 28. Ventana principal de la interfaz de usuario del sistema.....	45
Figura 29. Ventana de visualización de la cámara	46
Figura 30. Ventana de presentación de datos y resultados.....	46
Figura 31. Ventana emergente de guardado.....	47
Figura 32. Porcentaje de aciertos algoritmo basado en comparación de histogramas ...	49
Figura 33. Porcentaje de aciertos algoritmo basado en umbralización adaptativa	50
Figura 34. Detección de pit oscuro, dimensiones 5x8 μm	51
Figura 35. Detección de pit claro, dimensiones 1x1 μm	52
Figura 36. Detección conjunto de impurezas oscuras, dimensiones 49x61 μm	52
Figura 37. Detección de scratch, dimensiones 44x3 μm	53
Figura 38. Detección de conector roto, dimensiones 72x49 μm	53
Figura 39. Detección de conector en perfectas condiciones	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Código de programación implementado

RESUMEN

En este documento se presenta el diseño e implementación de un algoritmo para detectar impurezas en conectores de fibra óptica usando técnicas de visión artificial. El sistema fue implementado y probado en el laboratorio de producción de la empresa Microlink S.A.S como respuesta a una necesidad de automatizar el proceso de inspección de los conectores de los patch cords que se fabrican en la empresa. Durante el proceso de desarrollo se plantearon dos algoritmos diferentes buscando cumplir las especificaciones requeridas, uno basado en la comparación de histogramas de imagen y el otro basado en el uso de la técnica de umbralización adaptativa.

El sistema implementado se desarrolló mediante el uso de una cámara que captura la imagen del monitor de un microscopio especializado para fibra óptica, que posteriormente es procesada en el computador mediante el uso del algoritmo planteado e implementado con el lenguaje open source de programación Python™ y la utilización de librería Open CV potencializada para el procesamiento digital de imágenes.

Con la implementación de este sistema en el laboratorio se pudo evidenciar una mejora a nivel de calidad en la inspección ya que el proceso realizado por el software es altamente eficiente y brinda un soporte adicional de datos que genera más confianza en los clientes.

Palabras clave: Software, procesamiento digital de imágenes, sistema, patch cord, fibra óptica

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta el desarrollo del proyecto de grado en modalidad monografía titulado “Desarrollo de un algoritmo para la detección de impurezas en conectores de fibra óptica por medio de visión artificial” como requisito para obtener el título de ingeniero electrónico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

El proceso de inspección visual de los conectores de un patch cord de fibra óptica es vital para garantizar una óptima propagación de las señales a través del mismo. Las empresas encargadas de la fabricación de los patch cords deben entregar un soporte a sus clientes o compradores donde se justifique la óptima calidad de sus productos, pruebas como informes de inserción y retorno que entregan los datos de atenuación de las señales en su paso por el elemento.

Además, si el cliente lo exige se deben presentar informes de pruebas de interferometría que entregan parámetros físicos de los conectores como la relación del radio, ángulo de pulido para conectores APC entre otros. El proceso de inspección visual del elemento es realizado por un técnico de laboratorio quien verifica el estado del conector y toma acciones como aprobar el proceso de pulido y limpieza o repetirlo hasta que se cumpla con las especificaciones requeridas.

Actualmente existen algunos dispositivos para realizar la inspección visual de los conectores como sondas inteligentes y microscopios de fibra óptica especializados con la desventaja de su alto costo. El algoritmo y sistema desarrollados hacen uso de la teoría del procesamiento digital de imágenes (DIP) con el fin de procesar las imágenes adquiridas por el microscopio de fibra y generar un reporte con los parámetros físicos de las impurezas detectadas.

Inicialmente se presenta la recopilación y aplicación de información referente al procesamiento digital de imágenes con el fin de desarrollar un algoritmo que se encargue de la inspección visual de los conectores de un patch cord de fibra óptica y además se presente un informe con la recopilación de datos obtenidos durante la prueba para apoyar al técnico de inspección en el proceso de verificación. Adicionalmente, el sistema entrega al cliente un documento soporte que describe la calidad de los elementos que adquiere.

Durante el proceso de desarrollo del proyecto se tuvieron varias etapas desde la selección del sensor de imagen y software de desarrollo, definición de técnicas adecuadas para el procesamiento de la imagen, implementación final y verificación. Se realizó el diseño de dos algoritmos buscando la máxima efectividad en el proceso de inspección, uno basado en la comparación de histogramas de imagen y el otro usando la técnica de umbralización adaptativa mediante segmentación y filtrado para procesar la imagen. Una vez identificado el algoritmo más eficiente se procedió al diseño de la interfaz de usuario del sistema.

Para el desarrollo del algoritmo se tuvo en cuenta la norma CEI 61300-3-35 que describe los casos en los cuales debe ser aprobado o reprobado un conector de fibra óptica según los resultados de la inspección visual.

1. OBJETIVOS

Con el fin de cumplir con las especificaciones de diseño y funcionalidad requeridas por la empresa Microlink S.A.S para el desarrollo del proyecto se plantearon los siguientes objetivos que fueron aprobados en el anteproyecto por la empresa en convenio con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un algoritmo para la verificación de impurezas en los conectores de fibra óptica por medio de técnicas de procesamiento digital de imágenes.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Seleccionar la plataforma de hardware y software para el sistema de verificación de impurezas basados en especificaciones.

Diseñar el algoritmo de procesamiento digital de imágenes para detección de impurezas sobre el conector del patch cord de la fibra óptica utilizando técnicas de segmentación y filtrado digital

Integrar el sistema de adquisición y procesamiento de señal para detección apropiada de las impurezas

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

La empresa Microlink es una de las líderes en fabricación de conectividad en fibra óptica a nivel Nacional y distribución de equipos activos y pasivos para el sector de telecomunicaciones.

Los procesos de ensamblaje de patch cords de fibra son en su gran mayoría automatizados con el fin de garantizar las mejores condiciones de sus productos, sin embargo el proceso de verificación por microscopio de los conectores es realizado de manera manual por un operario.

Ante esta situación nace la necesidad de realizar una aplicación que permita automatizar este proceso de verificación, ya que al realizarse de manera manual existen errores sistemáticos en el proceso de detección de impurezas debidos a factores como cansancio del operario, descuido, falta de homogeneidad en los procedimientos, entre otras.

3. MARCO TEORICO

Para el desarrollo de este proyecto es indispensable conocer los conceptos de visión artificial, la teoría y técnicas del procesamiento digital de imágenes sobre los cuales está fundamentado, además de los conceptos básicos de la fabricación de patch cords de fibra óptica y los diferentes tipos de conectores y tecnologías existentes actualmente.

3.1 Visión artificial

Según ¹ la visión artificial es una sub área de la inteligencia artificial dedicada a 4 procesos fundamentales con las imágenes: adquirirlas, procesarlas, interpretarlas y tomar decisiones a partir de la información captada. En las últimas décadas el desarrollo tecnológico en materia de visión artificial ha tenido un auge considerable apoyando procesos industriales de robótica avanzada para optimizar procesos, ha apoyado áreas como la medicina en procesos de análisis de imágenes médicas, obras civiles, análisis de terrenos entre muchas otras aplicaciones más.

Algunas funciones de la visión artificial son:

- Automatizar tareas repetitivas
- Optimizar procesos industriales reduciendo el tiempo de ejecución de las tareas
- Hacer inspecciones sin contacto físico
- Garantizar calidad y análisis total de una producción ²

Se puede hacer una comparación entre la visión humana y la visión artificial, mientras que la visión humana es mejor para la interpretación cualitativa, debido a la naturaleza del ser humano, captura las imágenes y da un concepto subjetivo de lo que observa. Entre tanto, la visión artificial destaca en la interpretación cuantitativa de ambientes estructurados debido a su gran velocidad, precisión y repetitividad.

Al igual que todas las ramas de la electrónica y sistemas tecnológicos la visión artificial se enfrenta al dilema moral de desplazar la mano de obra humana pero lo cierto es que brinda ventajas operativas y de seguridad que benefician en muchos de los casos a los operarios que supervisan los sistemas, por ejemplo con sistemas de visión artificial se puede trabajar en ambientes corrosivos o en condiciones ambientales difíciles sin exponer la vida o la integridad física de los seres humanos.

¹ Visión Artificial [en línea], 2010 [revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

Existe un documento guía para la automatización y mejoras de los procesos de calidad creada por la compañía Americana Cognex, líder en la fabricación de sistemas y soluciones de inspección visual a nivel industrial. Este documento expone que existen innumerables ventajas con el uso de visión artificial en los procesos, entre ellas la más importante es el cumplimiento de objetivos estratégicos como:

- Calidad Superior: Por medio de la inspección, medición, calibración y verificación de los montajes.
- Mayor productividad: Las tareas repetitivas que se hacían manualmente ahora se realizan con sistemas automáticos, lo cual mejora la calidad de los productos y la eficiencia a nivel de tiempos de fabricación o inspección.
- Flexibilidad de producción: Se logra con la medición y calibración de los sistemas, guiado de robots y un estudio previo a la producción.
- Menos tiempo de inactividad de las máquinas y reducción del tiempo de configuración: Cambios y configuraciones pre programadas, los cuales ahorran tiempo y optimizan energéticamente los procesos haciéndolos más eco amigables.
- Información más completa y control de procesos más estricto: Con el uso de visión artificial se tiene un control total de todas las variables con retroalimentación de datos por ordenador.
- Reducción de gastos de bienes de capital: La Adición de visión a una maquina mejora el rendimiento y evita la obsolescencia.
- Menos costes de producción.
- Reducción de la tasa de desechos: Por medio de la inspección, medición y calibración.
- Control de inventarios: Reconocimiento óptico de caracteres e identificación.
- Espacio reducido: sistema de visión vs. Operador ²

Ya que la visión artificial se basa en el manejo y procesamiento de imágenes es importante dar una definición de lo que es una imagen, tanto a nivel de formación de la misma en el sistema óptico humano como a nivel de la adquisición y formación en sistemas digitales. En los dos casos la imagen es una representación finita capturada por un sensor, el ojo o la cámara, ambos tiene un numero finito de receptores ópticos, lo cual justifica que la imagen sea una representación finita.

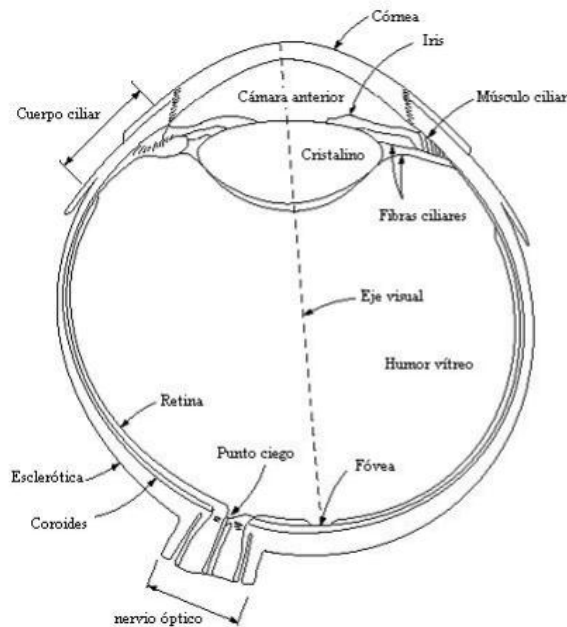
² COGNEX COMPANY, Introducción a la visión artificial una guía para la automatización de procesos y mejoras de calidad [revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf

3.2 Elementos de la percepción visual

En el libro de González y Woods ³ se presentan los elementos de percepción la visual y el proceso de formación de imágenes en el ojo.

La figura 1 muestra una imagen de las partes del ojo humano, este es casi una esfera de aproximadamente 20 mm de diámetro y es cubierto por tres membranas principales, Córnea, esclerótica y retina.

Figura 1. Diagrama simplificado del ojo humano



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Simplified-cross-section-of-the-human-eye-Gonzalez-Wood-74_fig23_322748447

- a. Córnea: Forma la membrana exterior del ojo junto con la esclerótica, es una superficie transparente que cubre la superficie frontal del ojo
- b. Esclerótica: Es una membrana opaca que cubre el resto del globo ocular
- c. Coroides: Contiene una red de vasos sanguíneos que son la principal fuente de irrigación del ojo. Es altamente pigmentada para reducir la cantidad de luz que entra al ojo y la reflexión dentro de él.
- d. Cuerpo ciliar: A él están unidos a los músculos ciliares que controlan el cristalino
- e. Diafragma iris: Se expande o contrae para controlar la cantidad de luz que entra en el ojo
- f. Cristalino: Está suspendido por fibras que lo atan al cuerpo ciliar. Tiene una pigmentación amarillosa que puede aumentar con la edad. El cristalino absorbe aproximadamente 8% del espectro visible, especialmente en longitudes de onda

cortas. La luz ultravioleta e infrarroja son absorbidas apreciablemente. El cristalino es “la lente” del ojo y sirve para enfocar, ayudado por los músculos ciliares.

- g. Retina: Es la membrana interior posterior del ojo. Cuando el ojo está enfocado, la imagen de un objeto exterior es proyectada en la retina. Sobre su superficie se encuentran los receptores que permiten la percepción visual: los conos y los bastones.

La fovea es una región circular de la retina de aproximadamente 1.5 mm de diámetro. Con ciertas libertades de interpretación, se puede pretender que la fovea es un arreglo cuadrado de sensores de 1.5x1.5 mm. La densidad de conos ahí es de aproximadamente 150,000 elementos por mm². Basado en esas aproximaciones, el número de conos en la región de más agudeza en el ojo es de cerca de 337,000 elementos.

Como lo relaciona el libro de Woods el ojo humano presenta un número considerable de receptores ópticos, lo cual hace que las imágenes que se perciben tengan una resolución espacial muy amplia. Sin embargo es claro que las imágenes que se perciben son representaciones finitas limitadas por dicha cantidad de receptores pero debido a su gran número esta condición es imperceptible para el humano.³

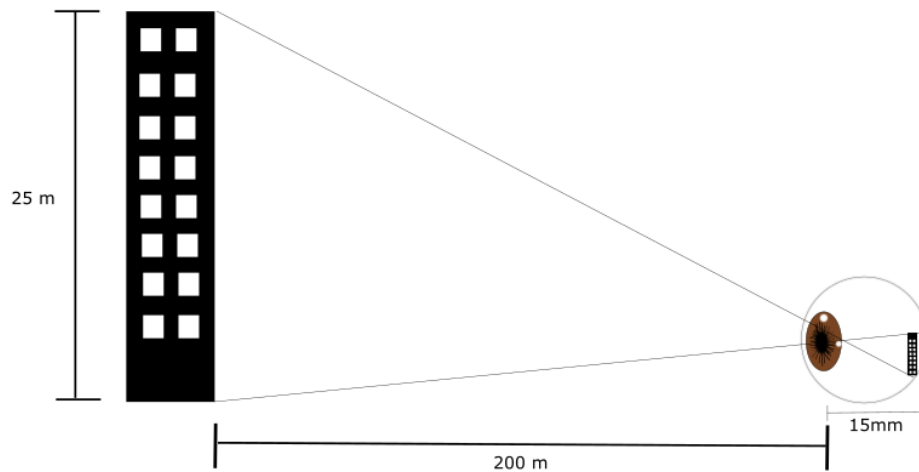
3.3 Formación de imágenes en el ojo

El equivalente a un lente óptico de un sensor digital, en el ojo es el cristalino y mientras que un el primero es rígido, el cristalino posee gran flexibilidad y varía su forma dependiendo de la tensión de las fibras del cuerpo ciliar, estos cambios de forma son los encargados del enfoque de las imágenes, para enfocar objetos cercanos se ensancha y para objetos lejanos se aplana.³

La distancia entre el centro del cristalino y la retina es de aproximadamente 15 mm, con esta distancia se puede calcular el tamaño que tiene un objeto reflejado en la retina. Por ejemplo, si se considera que un observador se encuentra ubicado a 200 metros de un edificio cuya altura es de 25 metros por regla de 3 simple se puede obtener nos dicho valor así

³ GONZALEZ, R.C. y R.E. WOODS. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2001. Pág: 37-38

Figura 2. Ejemplo cálculo del tamaño del objeto formado en la retina



Fuente: Autor

Para calcular el tamaño del objeto formado en la retina, la regla de tres simple se plantea de la siguiente manera según la ecuación 1

$$\frac{25\text{ m}}{X} = \frac{200\text{ m}}{0.015\text{ m}} \quad (1)$$
$$X = 1.87\text{ mm}$$

Siendo X el tamaño del objeto formado en la retina.

3.4 Formatos de color

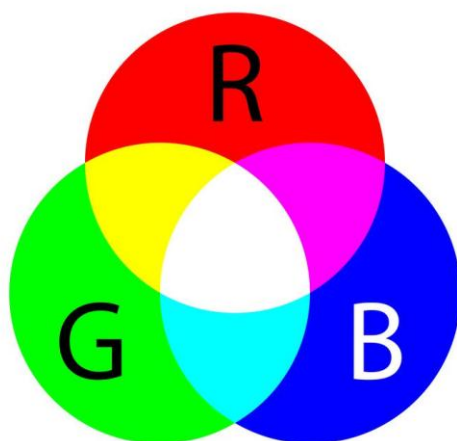
Según ⁴ el principal problema al momento de procesar la información electrónica de una imagen es la consistencia del color en el sistema, existen dos metodologías básicas de reproducción del color, la aditiva y la sustractiva, RGB frente a CMY o CMYK respectivamente. Todos los dispositivos o periféricos de control de color deben ajustarse a una de las dos metodologías, por ejemplo los escáneres, cámaras digitales, pantallas tipo CRT o LCD adoptan la metodología aditiva, codifican en formato RGB y por otro lado cualquier tipo de impresora codifica en formato CMY o CMYK.

⁴ ARTIGAS M JOSÉ, CAPILLA PASCUAL y PUJOL JAUME. Tecnología del color, Els autors, Valencia, 2002. Pág. 32

3.4.1 Formato RGB

El formato RGB parte de la idea de que cualquier color puede ser formado por la combinación de los 3 colores primarios rojo, verde y azul. La representación digital del formato RGB codifica cada color con 8 bits, teniendo una representación total de 24 bits por pixel.⁵

Figura 3. Espacio de color RGB



Fuente: <https://hisour.com/es/rgb-color-model-24867/>

En este modelo se pueden representar los colores de diferentes maneras:

RGB Decimal: Cada color aditivo permite una proporción expresada con un numero comprendido entre el 0 – 255. Por ejemplo: RGB (0, 102, 153) que representa una proporción del rojo de 0, del verde 102 y del azul 153.

RGB Porcentajes: Ahora, la proporción de cada color aditivo se puede expresar con valores porcentuales entre 0 -100 %. Por ejemplo: RGB (0%, 40%, 60%).

RGB Hexadecimal: también se puede representar el color con valores hexadecimales como podría ser: #006699 (rojo: 00, verde: 66, azul: 99)

⁵ CUENCA CASTILLO PEDRO ANGEL. Codificación y transmisión robusta de señales de video MPEG-2 de caudal variable sobre redes de transmisión asíncrona ATM, Universidad de Castilla la Mancha, colección tesis doctorales , 1998. Pág. 66. [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://books.google.com.co/books?id=8CMEBAnjVGgC&pg=PA66&dq=formato+rgb&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwih6v7O3NbaAhVuk-AKHcZdBE8Q6AEIJzAA#v=onepage&q=formato%20rgb&f=false>

3.4.2 Formato CMY y CMYK

El formato CMY usa como colores base el Cian, Magenta y Amarillo CMY por sus siglas en inglés, la metodología sustractiva es usada por las impresoras y se denomina sustractiva debido a que las tintas filtran la luz blanca que incide sobre la superficie y sustraen todos los colores del espectro excepto el tono mezclado que se desea reflejar, es decir que una parte del espectro de colores de la luz que incide sobre la superficie es sustraída

Cada superficie sustrae ciertas longitudes de onda, por ejemplo la superficie Cian absorbe la componente del color rojo y refleja solamente el verde y el azul.

Figura 4. Superficies sustractoras



Fuente:

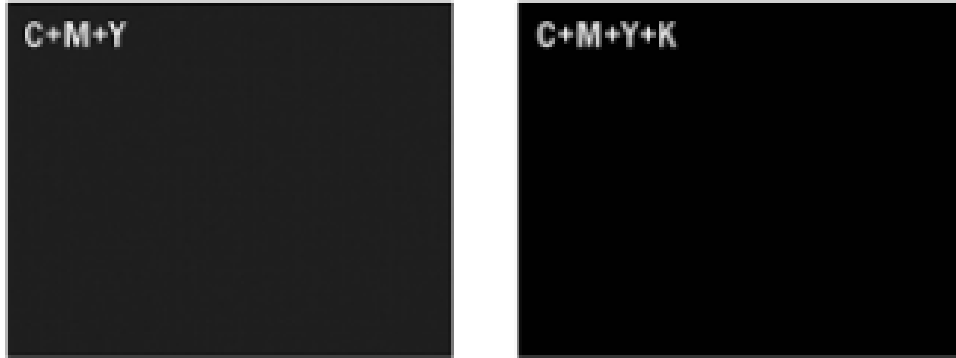
<https://books.google.com.co/books?id=O8tN4J-ErTYC&pg=PA23&dq=formato+CMY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8r4XW8ODaAhUvuVkkHSfgBfYQ6AEIMzAC#v=onepage&q=formato%20CMY&f=false>, Pág. 22

El formato CMYK es el mismo formato CMY pero con la adición del color negro ya que ante la necesidad de obtener sombras con mayor contraste, más oscuras y profundas se añadió el color negro para solucionar este problema, la letra K se usa para evitar confusiones con la B de blue y ya que la k forma parte de la palabra Black se optó por usarla.

Si se mezclan en igual proporción los colores cian, magenta y amarillo teóricamente se obtendría el color negro pero ya que las tintas son incapaces de absorber totalmente la luz visible se obtiene un color gris oscuro, otra necesidad que dio soporte para la creación del formato CMYK. ⁶

⁶ MONZÓN MARCELO, Retoque fotográfico desde cero, Editorial A todo color, Pág. 22-23. [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://books.google.com.co/books?id=O8tN4J-ErTYC&pg=PA23&dq=formato+CMY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8r4XW8ODaAhUvuVkkHSfgBfYQ6AEIMzAC#v=onepage&q=formato%20CMY&f=false>, Pág. 22-23

Figura 5. Color negro impreso en formato CMY vs CMYK.



Fuente: <https://books.google.com.co/books?id=O8tN4J-ErTYC&pg=PA23&dq=formato+CMY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8r4XW8ODaAhUvuVkkHSfgBfYQ6AEIMzAC#v=onepage&q=formato%20CMY&f=false>, Pág. 23

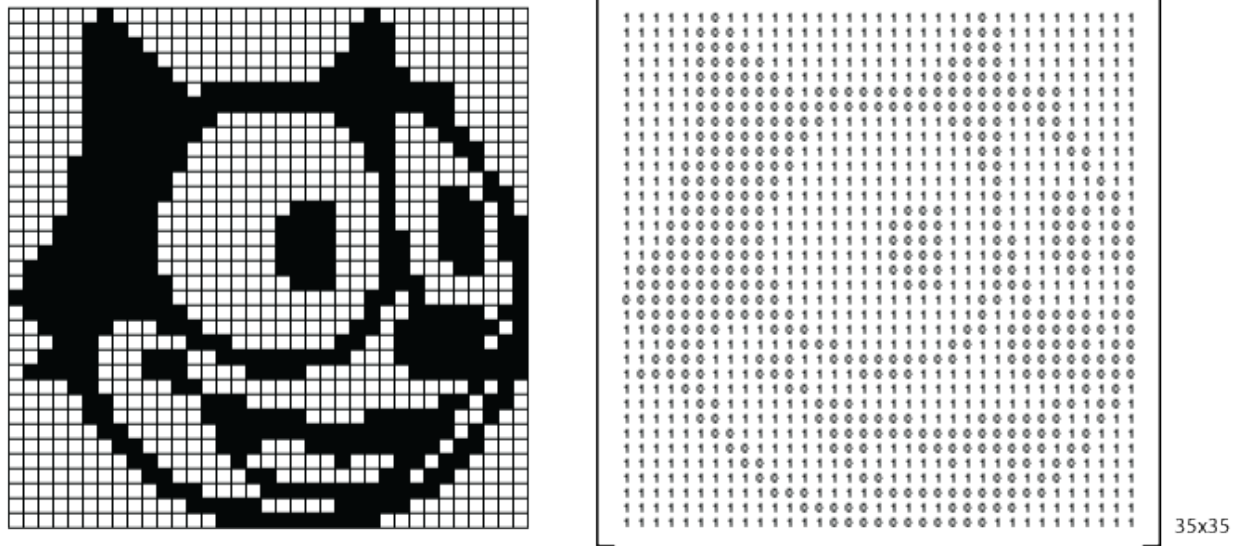
3.5 Definición Matemática de una imagen

Una imagen se puede definir matemáticamente como una función bidimensional $f(x,y)$ donde X y Y son las coordenadas del plano Cartesiano, además el valor de f en cada punto (x, y) tiene un valor específico de intensidad lo cual permite describir un nivel de tonalidad para cada pixel. Teniendo en cuenta esta definición se puede concebir la imagen como una matriz de pixeles de tamaño $m \times n$, así es como los sistemas digitales analizan, procesan y manejan las imágenes.

Una imagen continua $f(x, y)$ se describe de forma aproximada por una serie de muestras igualmente espaciadas organizadas en una matriz como se muestra a continuación en la ecuación 2

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Figura 6. Imagen Binaria y su matriz de pixeles



Fuente: <http://blog.kleinproject.org/?p=588>

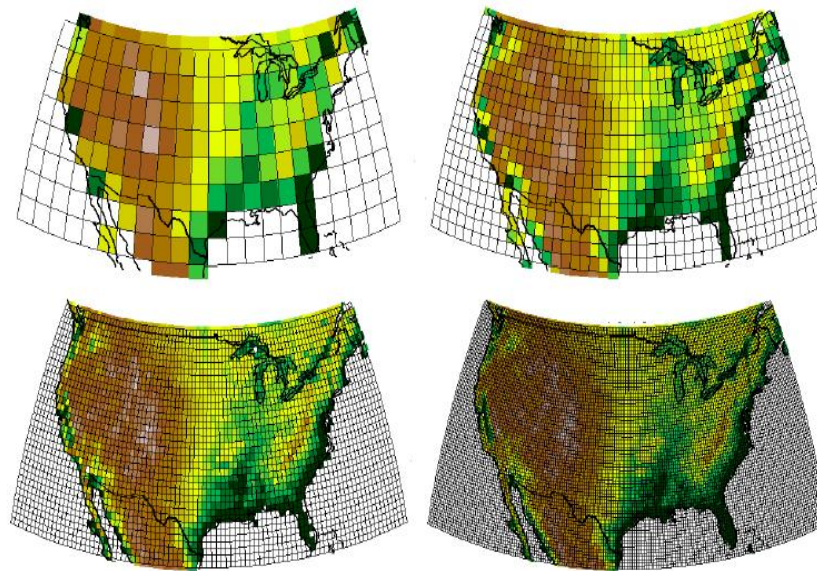
3.6 Resolución de una imagen:

Una característica importante de las imágenes digitales es la resolución, existen 3 tipos de resolución de las mismas, La resolución espacial, temporal y radiométrica. El concepto de resolución independiente de que tipo es proporcional a la calidad de las imágenes representadas o video para el caso de la resolución temporal.

3.6.1 Resolución espacial

Se entiende por resolución espacial al grado de detalle discernible en una imagen, actualmente la humanidad está muy familiarizada con este concepto ya que los Smartphone y dispositivos de adquisición de imágenes se seleccionan según la resolución que presentan, en otras palabras la resolución espacial es el número de pixeles de ancho por el número de pixeles de alto que describen la imagen capturada.

Figura 7. Imagen descrita con diferentes resoluciones espaciales.



Fuente: <https://stackoverflow.com/questions/11164974/r-plot-filled-longitude-latitude-grid-cells-on-map>

Como se observa en la figura 7 la descripción de mejor calidad de la imagen se logra cuando la grilla usada es de más resolución espacial, es decir existe una mayor densidad de píxeles que pueden representar las tonalidades de la imagen

3.6.2 Resolución temporal

El concepto de resolución temporal viene desde la aparición del proyector cinematográfico, un dispositivo que según ⁷ apareció alrededor de 1880 inventado por el fotógrafo Eadweard Muybridge. Básicamente es un dispositivo capaz de reproducir cierta capacidad de imágenes en un periodo de tiempo. Años después Thomas A. Edison patentó su Kinetoscopio, cuya característica principal era la resolución de 40.46 fotogramas por segundo, según dice el artículo presentado en ⁸.

Al igual que la resolución espacial en las imágenes el concepto de resolución temporal es muy importante para definir la calidad del video, a una mayor tasa de fotogramas por segundo se puede apreciar una mayor fluidez en el video. Este concepto es la base de técnicas de grabación de cine como el Stop Motion, que a diferencia del cine tradicional no se graba con cámaras de video sino se capturas imágenes fotograma a fotograma.

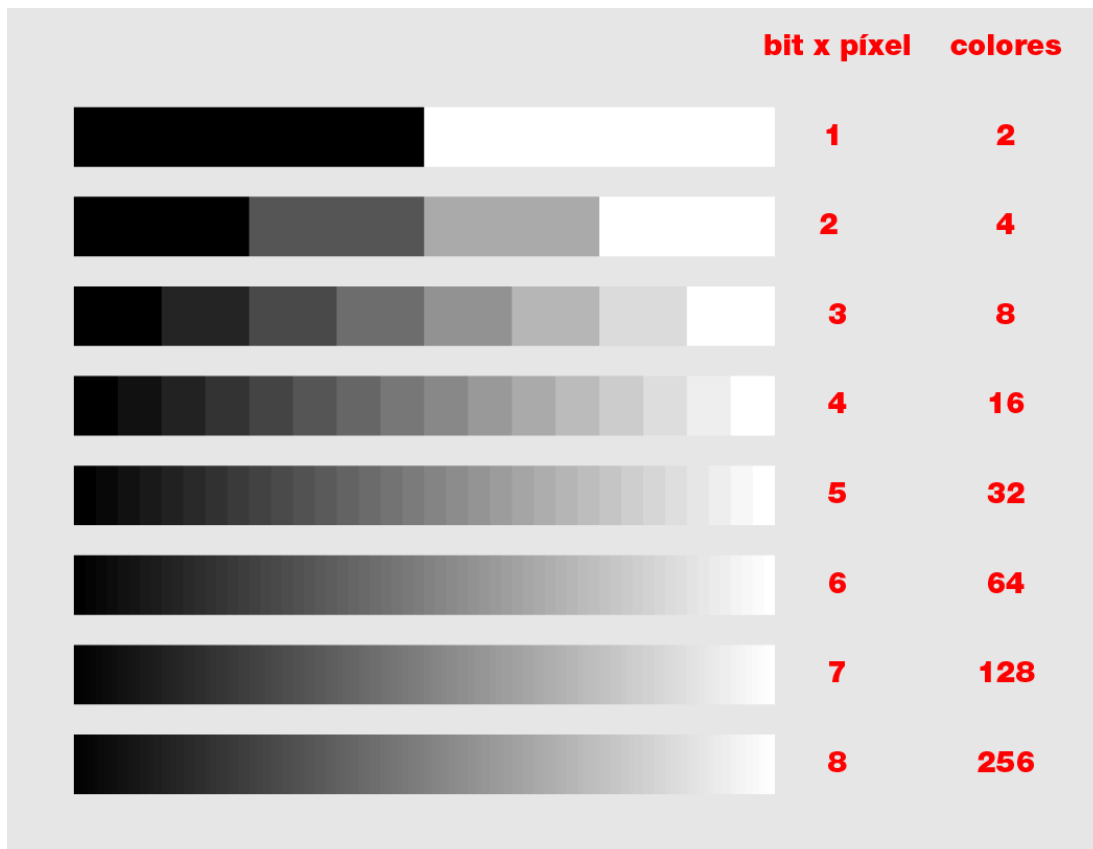
⁷ Historia del proyector de video de lo analógico a lo digital, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://eikonos.com/blog/historia-del-proyector-de-video-de-lo-analogico-lo-digital/>

⁸ Thomas Edison y la patente del primer proyector de cine, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.telesurtv.net/news/Thomas-Edison-y-la-patente-del-primer-proyector-de-cine-20160821-0020.html>

3.6.3 Resolución Radiométrica o resolución a nivel de gris

Esta resolución se refiere al más pequeño cambio discernible en el nivel de gris de cada pixel, aunque como se había señalado anteriormente en los formatos de color el nivel de gris también se usa para describir el nivel de intensidad de cada color RGB. Debido a que se tratan imágenes con representación digital, esta resolución se refiere al número de bits usados para representar el nivel de intensidad de cada pixel. A mayor número de bits se tiene mayor versatilidad y resolución para representar las tonalidades. La potencia de 2 representa el número de tonalidades de gris que se pueden representar para cada pixel, por ejemplo, el formato de escala de grises representa las intensidades con 8 bits de profundidad por cada pixel, realizando la potencia (2^8) = 256, lo cual quiere decir que las tonalidades desde el negro absoluto representado por el nivel 0, hasta el blanco absoluto (255) pasando por toda la escala de grises intermedia se pueden representar con 256 niveles de intensidad. La figura 8 mostrada a continuación representa los niveles de intensidad posibles según el número de bits.

Figura 8. Niveles de intensidad según el número de bits por pixel.



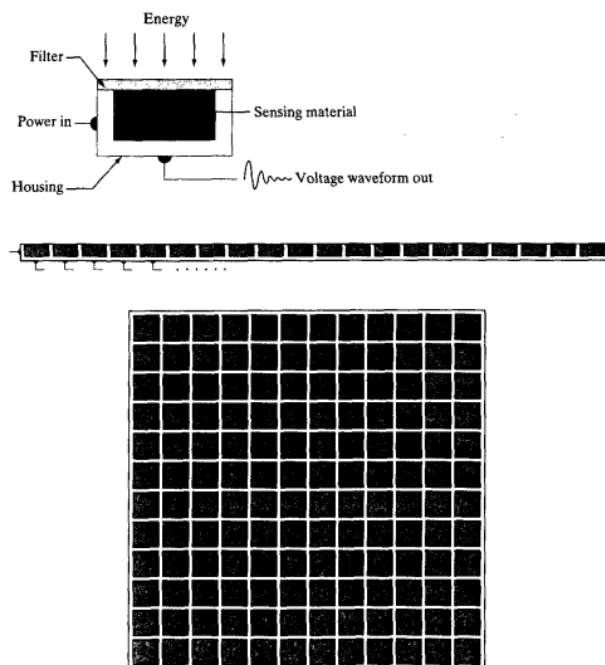
Fuente: <http://www.glyptodont.com/span/photocs5/glyptodon/clase01/main04.htm>

3.7 Sensores de imagen

Según el libro de Woods³ las imágenes que se procesan se forman por la combinación de una fuente luminosa y la absorción de energía de esta fuente por parte de los elementos de la escena.

En algunas aplicaciones la energía transmitida o reflejada pasa por un foto convertidor, el más común es una pantalla de fosforo que convierte la energía en una fuente de luz visible. Existen tres tipos de arreglos de los sensores para captar las imágenes, el sensor simple, el arreglo en línea y el arreglo matricial como se presentan a continuación en la figura 9

Figura 9. Tipos de sensores, sencillo, en línea y en arreglo matricial.



Fuente: GONZALEZ, R.C. y R.E. WOODS. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2001. Pág. 46

El proceso de todos los arreglos de sensores es simple, la energía que entra se convierte en un voltaje por la combinación de la electricidad de entrada y el material del sensor (sensible al tipo de energía que se quiere captar), la onda de voltaje de salida es la respuesta del sensor y una cantidad digital se obtiene de cada sensor digitalizando su respuesta.

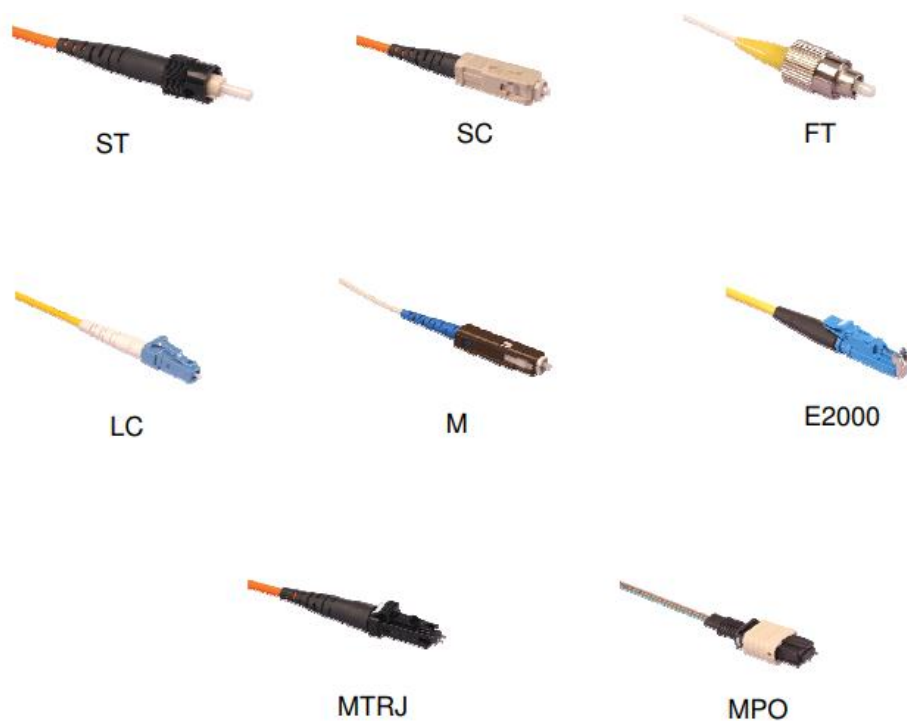
⁹ GONZALEZ, R.C. y R.E. WOODS. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2001. Pág. 46

3.8 Patch cords de fibra óptica

Según ¹⁰ “Un cordón de fibra óptica (patch cord o patchcable) es un cable de fibra óptica de corta longitud (usualmente entre 1 y 30 mts) para uso interior con conectores instalados en sus dos extremos, usualmente en presentación simplex (una sola fibra) o duplex (2 fibras) aunque pueden presentarse arreglos multifibra. Los cordones de fibra pueden interconectar directamente dos equipos activos, conectar un equipo activo a una caja pasiva (ODF - Panel de distribución de fibra) o interconectar dos cajas pasivas conformando en este caso un sistema administrable de cableado (Cross Connect). En este último caso, patch cords son conectados entre el equipo activo y el ODF en su porción interna, y patch cords frontales ODF a ODF, permitiendo una administración de puertos del equipo activo simplemente cambiando patch cords de posición”

Una amplia gama de diseños son ofrecidos por el mercado, y la elección del conector dependerá de los requerimientos de los equipos y/o ODF's a interconectar.

Figura 10. Tipos de conectores de los Patch cords



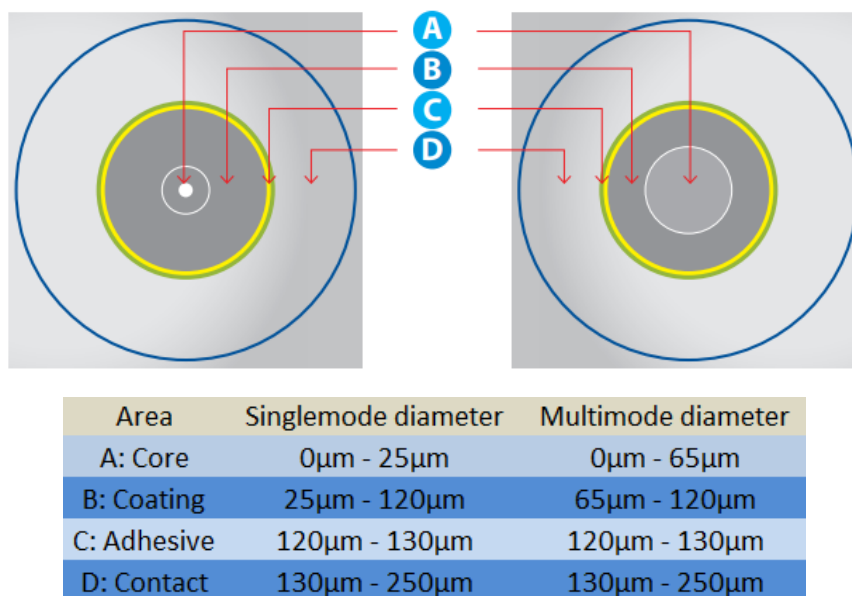
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cordones-fibra-optica-patchcords/cordones-fibra-optica-patchcords.pdf>, pág. 5

¹⁰ Conozca más acerca de los cordones de fibra óptica (patchcords), Praxtel Telecomunicaciones. Pág. 1-5

3.8.1 Partes de un conector de fibra óptica

El libro Blanco de la empresa Senko Advanced Components, en su versión de 2016 ¹¹ describe las partes principales de un conector de fibra y sus funciones.

Figura 11. Partes de un conector de fibra óptica



Fuente: http://www.senko.com/es/technical/pdf/Fiber%20Optic%20Connector%20Hygiene_Esp.pdf Pág. 8

“La férula es la parte fundamental del conector que sujeta y centra la fibra óptica para conectarla con otra sección de una red de fibra. Tal como se define en la norma CEI 61300-3-35, la superficie del extremo del conector óptico se divide en tres zonas que son el Núcleo (zona A), en la que viaja la luz, Revestimiento (Zona B), que es la sección exterior del núcleo que refleja la luz de regreso al núcleo, y la zona de contacto físico (zona C + D) de 250µm, donde las férulas se unen. El núcleo de un conector monomodo tiene apenas 9µm. Una partícula de suciedad, una mota de polvo o una mancha de grasa en la posición correcta pueden causar un alto nivel de reflexión, pérdida de inserción y daño de las fibras. La limpieza del conector es indispensable en los sistemas de transmisión de alta potencia, como los sistemas DWDM, o en las transmisiones de larga distancia, donde se utilizan amplificadores Raman, la potencia de transmisión de señales ópticas puede llegar de 1W a 5W. En la transmisión de una fibra monomodo, tal como la transmisión de alta potencia, puede quemarse el contaminante y fundirse la suciedad con el material de sílice de la fibra óptica, por lo que es necesario el reemplazo del conector.”

¹¹

¹¹ LEE HL BERNARD, Conector de fibra óptica Higiene, Libro Blanco, Senko Advanced components [revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: http://www.senko.com/es/technical/pdf/Fiber%20Optic%20Connector%20Hygiene_Esp.pdf

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Especificaciones Requeridas

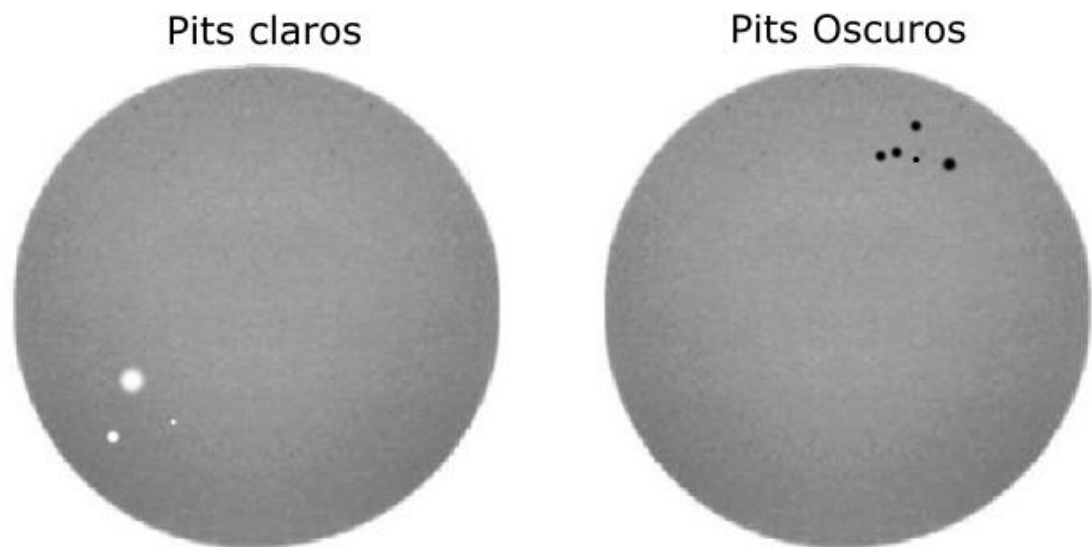
Con el fin de establecer las funciones y características que debe tener el sistema a implementar se definieron las siguientes, teniendo en cuenta la norma CEI 61300-3-35 adoptada por la empresa ¹²

1. La principal función del algoritmo debe ser la de detectar los 3 principales casos de impurezas que se aprecian en el laboratorio al momento de verificar los conectores de los patch cords (pits, scratches y bordes).

Según la norma CEI 61300-3-35 adaptada por la empresa se consideran los siguientes casos para aceptar o rechazar un conector.

- a. Todo conector con presencia de huecos (pits) ya sean de tonalidad clara u oscura debe ser **rechazado** ya que en estas condiciones puede causar daños al conector enfrentado.

Figura 12. Presencia de pits claros y oscuros



Fuente: Autor

- b. Todo conector con presencia de bordes pronunciados debe ser **rechazado** ya que puede causar daños al conector enfrentado

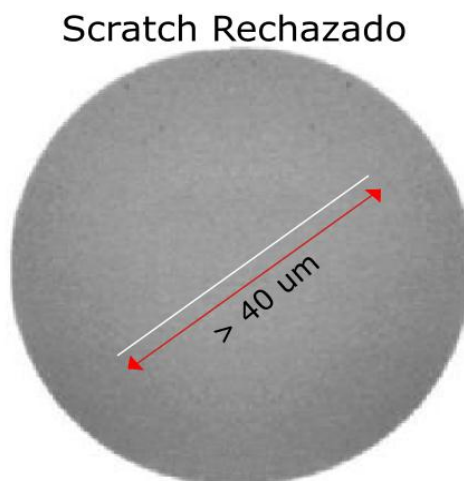
Figura 13. Presencia de bordes pronunciados



Fuente: Autor

- c. Todo conector con presencia de scratches (rayones) debe ser rechazado cuando este supera los 40 μ de largo

Figura 14. Presencia de Scratch de más de 40 μ m de longitud



Fuente: Autor

- d. Cualquier tipo de impureza ya sea pit, scratch o cualquier otra si se encuentra en la región del núcleo debe ser rechazada ya que esta es la zona más crítica para descartar las mismas. Es importante tener en cuenta que el diámetro del núcleo depende del tipo de patch cord, ya sea multimodo o mono modo
-
- 2. (Opcional) Diseñar un entorno gráfico que permita al operario manipular el sistema de forma práctica y eficiente, en cual se presenten en tablas los parámetros de las impurezas detectadas al igual que un veredicto de aprobación o rechazo del conector medido según la norma anteriormente descrita en el literal 1.

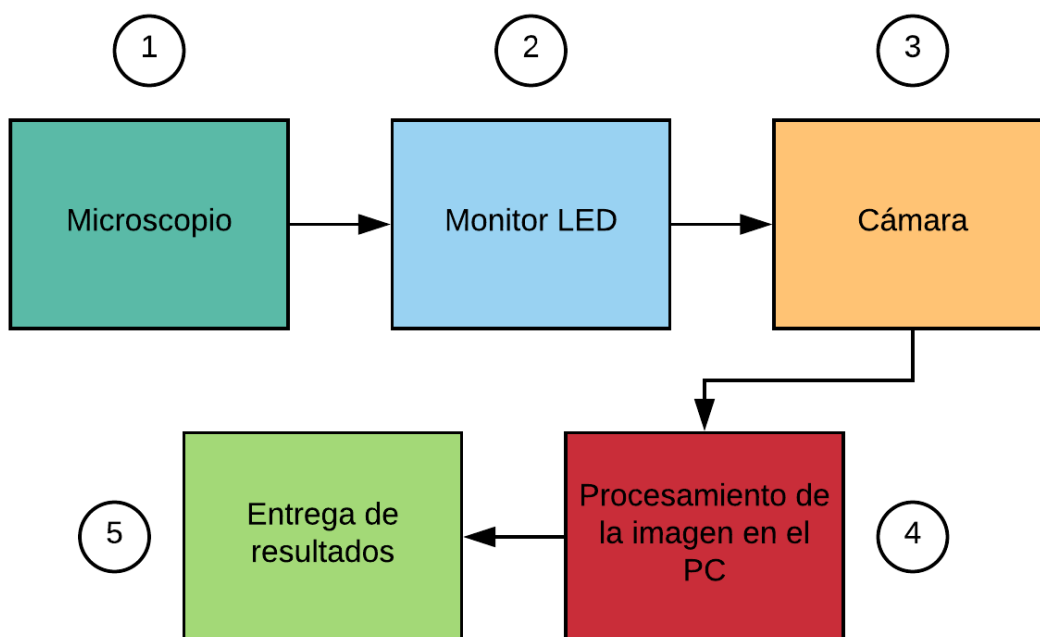
¹² Norma IEC 61300-3-35, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.c3comunicaciones.es/la-norma-iec-61300-3-35/>

4.2 Diseño General

El sistema implementado está basado en el uso de una cámara ubicada frente al monitor del microscopio de fibra dado que la señal entregada a dicho monitor es de tipo analógica por medio de un conector BNC.

El diagrama que ilustra la arquitectura y secuencia del sistema implementado se presenta en la figura 15

Figura 15. Arquitectura y secuencia del sistema implementado



Fuente: Autor

El proceso de verificación de los conectores en el laboratorio de la empresa es realizado con el uso de Microscopios de la Marca DOMAINELLE ENGINEERING, Modelo DE2503: Dentro de sus características se encuentran

- Sistema de iluminación LED azul
- Video de alta resolución
- Boquilla cuádruple de torreta que permite un cambio rápido de aumento
- Ampliación total del video 200x, 425x y 875x (1720X opcional)
- Óptica de larga distancia de trabajo para la inspección de UPC y APC
- Receptáculos para conectores UPC, APC y multi fibra

Figura 16. Microscopio DOMAINELLE ENGINEERING, Modelo DE2503

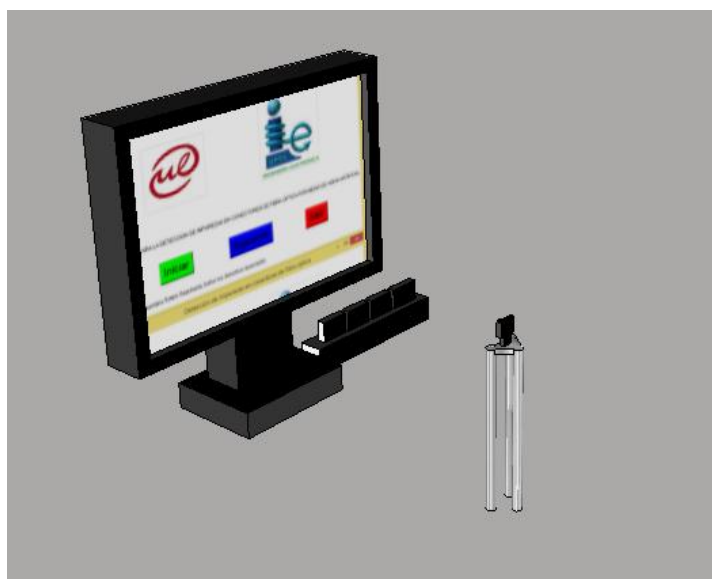


Fuente: Hoja de especificaciones del dispositivo

<https://www.domailleengineering.com/products/microscopes/de2503.php>

Debido a las políticas de seguridad y confidencialidad de la empresa no se presenta una foto del sistema implementado físicamente en el laboratorio, en su lugar se expone un render del montaje final.

Figura 17. Render del sistema de detección



Fuente: Autor

4.3 Selección de la plataforma de software

Existen varias opciones de software con herramientas muy potentes para realizar procesamiento digital de imágenes, entre ellas las dos más destacadas son Matlab® y cualquier software interprete de lenguaje Python™.

Se evaluaron las ventajas y desventajas de cada plataforma por separado para seleccionar la herramienta que mejor se acople a los requerimientos de diseño. Por un lado Matlab es un software con lenguaje de muy alto nivel y versatilidad, con amplia variedad de toolboxes dedicados a aplicaciones puntuales, para este caso es aplicable el Toolbox (Image Processing) que según la página web de su fabricante ¹³ proporciona un conjunto completo de algoritmos estándar de referencia y apps de flujo de trabajo para el procesamiento, el análisis y la visualización de imágenes.

Además Matlab® presenta una compatibilidad alta con diferentes dispositivos, cámaras, smartphones, entre otros. Es una herramienta ideal para el desarrollo del proyecto, sin embargo el principal inconveniente de su uso radica en su costo, ya que es un software licenciado, si se desea adquirir para uso empresarial de desarrollo tiene un costo elevado. Analizando la relación costo – beneficio de su uso se optó por descartar esta opción ya que por tratarse de un proyecto investigativo no es rentable pagar anualmente por la licencia de uso

Por otro lado evaluando la posibilidad de uso de Python™, según ¹⁴ es un lenguaje interpretado, multiplataforma, de sintaxis y semántica sencilla y consistente. Y aunque es un lenguaje orientado a objetos, puede ser utilizado para soportar el paradigma procedural y funcional. Promueve la creación de código legible, maneja tipos dinámicos, gestión dinámica de la memoria (recolector de basura) y maneja excepciones.

Python™ al igual que Matlab® es una herramienta muy potente para realizar procesamiento de imágenes ya que cuenta con una librería llamada Openc CV que según la información que brinda su distribuidor ¹⁵ es de uso gratuito ya sea para fines académicos o comerciales, es ampliamente usada en aplicaciones de robótica avanzada y sistemas de procesamiento en tiempo real .

¹³ Mathworks, Image Processing toolbox, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: https://la.mathworks.com/products/image-processing-toolbox.html?adobe_mc_ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com.co%2F

¹⁴ LOBOS EDITH, GIBELLI TATIANA, BERTONE RODOLFO, Programación Estructurada en un Curso Introductorio, una Experiencia Explorando Python, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/50639/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

¹⁵ OPEN CV™, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://opencv.org/>

Una desventaja del uso de Python™ es que al usarse con la librería Open CV presenta problemas de compatibilidad con algunos dispositivos, además el desarrollo de ambientes gráficos o interfaces de usuario no presenta tanta versatilidad si se compara con los que permite desarrollar Matlab®, sin embargo evaluando las características esenciales Python™ cumple con los requerimientos para el desarrollo y fue seleccionado como la herramienta ideal para el proyecto.

Ya que Python™ es solo el lenguaje de programación, necesita de un entorno de desarrollo integrado (IDE) por sus siglas en inglés que realice la interpretación del lenguaje. Existen gran cantidad de IDE's con herramientas muy versátiles y también se encuentran bajo licencia o código abierto. Este es el criterio principal tomado en cuenta para realizar la selección. A continuación se presenta una tabla de comparación de varios IDE analizados para la selección.

Tabla 1. Selección de entornos de desarrollo integrado.

Entornos de desarrollo integrado						
Nombre	Open source		Compatible Python		Multiplataforma	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
Wing IDE		X	X		X	
Pycharm		X	X		X	
Komodo IDE		X	X		X	
PyScripter	X		X			X
Eric	X		X			X
Geany		X	X		X	
Liclipse	X		X		X	

Fuente: Autor

Según el análisis realizado a partir de la tabla 1, se optó por escoger el IDE Liclipse debido a que cumple con todos los criterios tenidos en cuenta, es open source, compatible con Python y tiene una versión disponible para todos los sistemas operativos. Según ¹⁶ Liclipse es un editor rápido que acepta múltiples lenguajes y brinda soporte gratuito para cada uno de estos:

- C/C++
- CSS
- CoffeScript
- CMake (new on 3.2.0)
- Dart
- Django Templates
- Go (new on 2.0)
- HTML
- Java
- JavaScript
- Jinja2 (new on 2.0)
- Julia
- Kivy Language
- Linux Shell files (new on 2.2.0)
- Mako Templates
- Markdown (new on 2.1.0)
- Nim (new on 2.0)
- PERL (new on 2.2.0)
- PHP (new on 2.1.0)
- Python™
- RAML (new on 2.4.0)
- RST (ReStructured Text)
- Ruby (new on 2.1.0)
- SCSS
- StringTemplate
- Swift (new on 2.2.0)
- Windows bat files (new on 2.2.0)
- XML
- YAML

¹⁶ LICLIPSE™, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.lclipse.com/>

4.4 Selección del sensor de imagen

La selección de la cámara es un factor clave en la realización del proyecto, ya que lo ideal es escoger una con la mayor resolución posible y que sea compatible con la librería Open CV y el IDE seleccionado. Debido a problemas de compatibilidad de hardware que presenta el lenguaje Python™ se escogió una Cámara web de alta resolución de Microsoft cuyos drivers se auto instalan y el IDE los reconoce inmediatamente. La resolución espacial de este sensor es de 1280 x 800 px, enfoque automático y estabilizador lumínico integrado, lo cual la hace ideal para la aplicación.

Figura 18. Microsoft LifeCam HD-6000

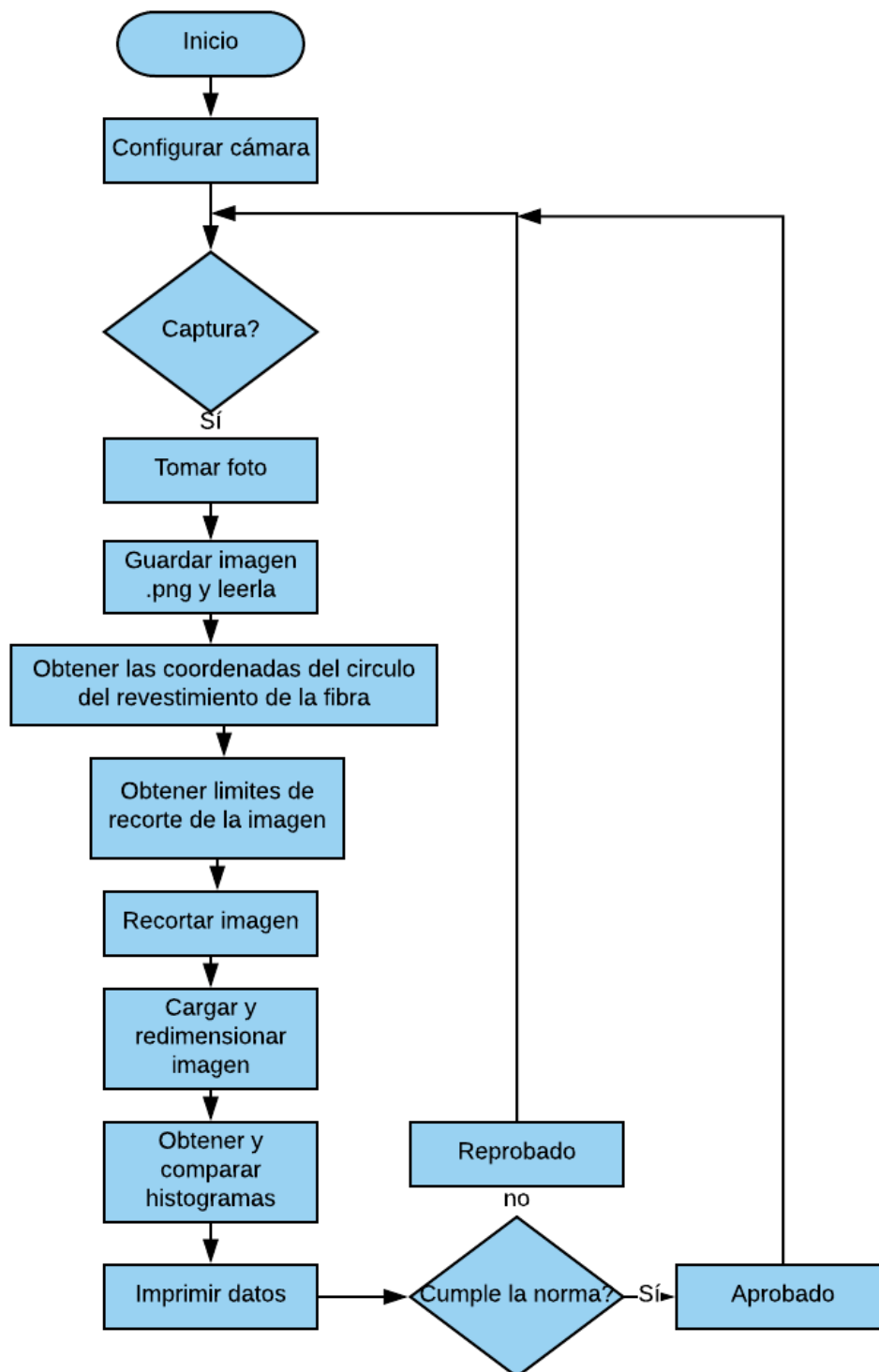


Fuente: <https://www.amazon.com/Microsoft-LifeCam-HD-6000-Notebooks-7PD-00008/dp/B009KG9FUQ>

4.5 Desarrollo del algoritmo por comparación de histogramas

Debido a que el histograma de una imagen entrega una función de distribución de frecuencias relacionando qué cantidad de píxeles tienen un nivel de intensidad determinado, se planteó un algoritmo basado en la comparación de dos histogramas, ya que el histograma es como la huella digital de una imagen y es más factible comparar dos histogramas y no comparar dos imágenes pixel a pixel con el fin de determinar qué nivel de correlación tienen y emitir un juicio si el conector es aprobado o no. El primer histograma de referencia es obtenido de una imagen patrón, capturada de un conector limpio, sin impurezas y el otro es obtenido de la imagen del conector que en el momento se quiere analizar. El diagrama de flujo del algoritmo planteado se presenta en la figura 19

Figura 19. Algoritmo basado en la comparación de histogramas



Fuente: Autor

La captura de la imagen se realiza por medio de la detección de acción de un botón cualquiera del teclado del computador, una vez realizada la captura, es necesario detectar el círculo del revestimiento de la fibra en la imagen ya que es la región de interés para tratar la imagen.

Figura 20. Imagen patrón, capturada en laboratorio



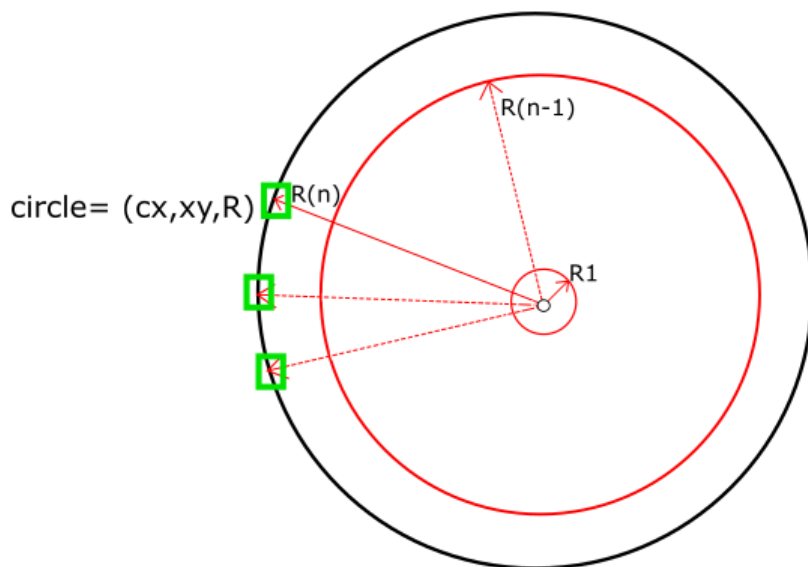
Fuente: Autor

Una vez obtenida la imagen patrón se procede a realizar la captura del conector que se desea analizar y se le aplica la transformada de Hough para la detección de círculos que entrega un vector de 3 posiciones (x , y , R) siendo X y Y las coordenadas del centroide y R el radio del círculo detectado.

Aplicación de la transformada de Hough

La aplicación puntual de la transformada de Hough para detectar círculos se basa en el uso de un vector acumulador de 3 posiciones al igual que el resultado que entrega la transformada, dicho algoritmo realiza un barrido sobre toda la imagen pixel a pixel para detectar los posibles centroides de los círculos que encuentre en la imagen. Una vez definidos dichos centroides se genera un barrido de vectores rotatorios cada vez aumentando su radio y evaluando si hay intersección del vector con puntos en la imagen, si no hay éxito en las intersecciones se aumenta el radio del vector y se continúa con el proceso hasta tener éxito.

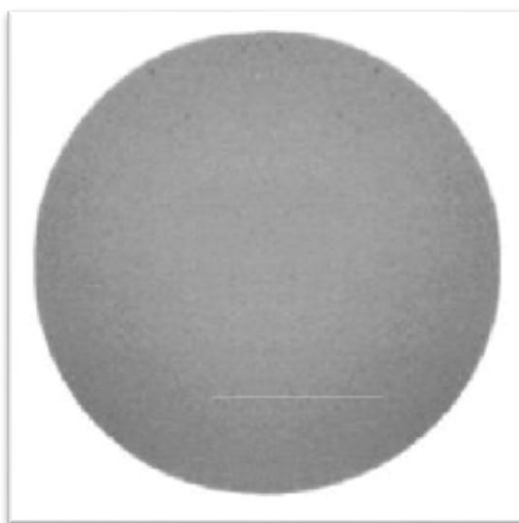
Figura 21. Transformada de Hough para la detección de círculos



Fuente: Autor

Una vez detectado el círculo del revestimiento que es la región de interés para el análisis se procede a normalizar la imagen a un tamaño fijo, dejando una tolerancia de 10 pixeles alrededor del círculo y así tratar la imagen con mayor facilidad.

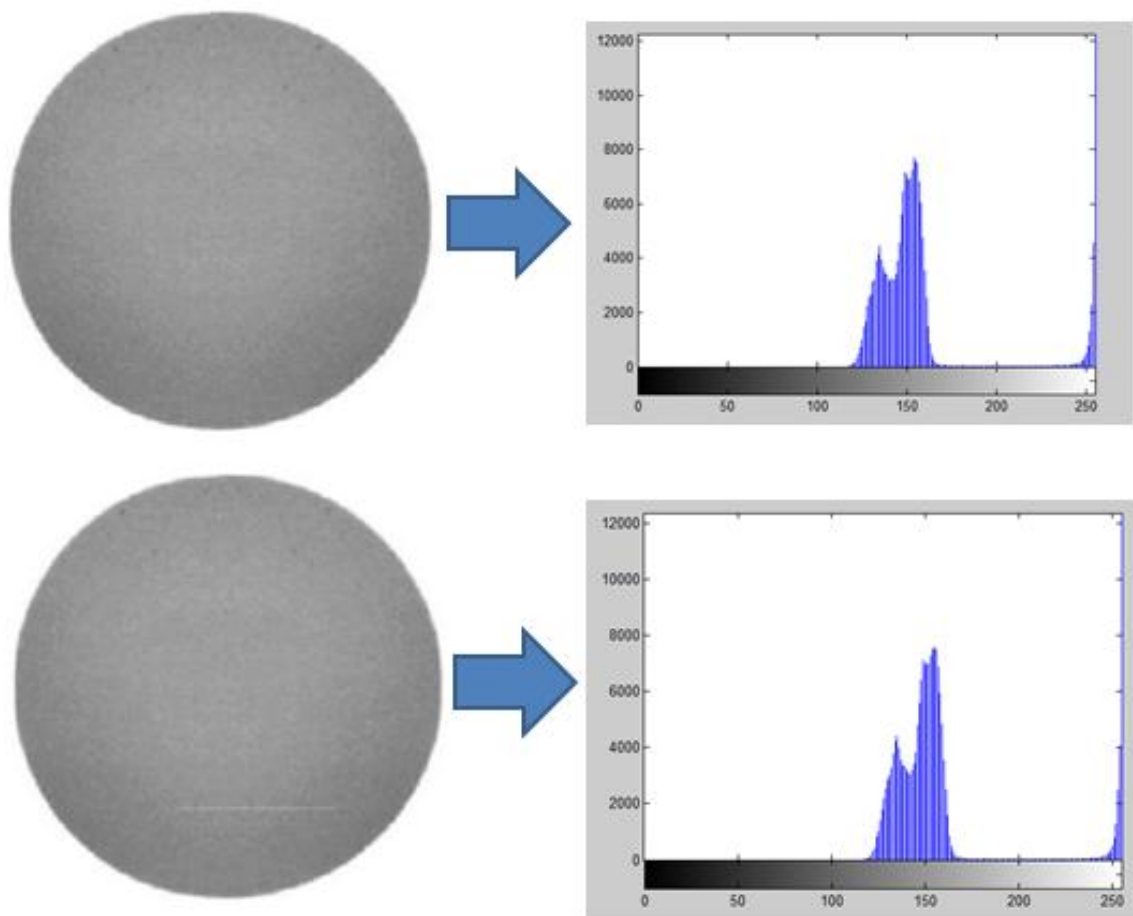
Figura 22. Imagen normalizada con tolerancia de 10px



Fuente: Autor

Posteriormente se carga la imagen patrón y se redimensiona al tamaño de la imagen normalizada de la figura 22 con el fin de poder realizar la comparación de histogramas entre las dos imágenes por medio de una función de correlación que entrega un porcentaje de similitud entre las mismas.

Figura 23. Cálculo de histogramas de la imagen patrón y la imagen objeto de análisis

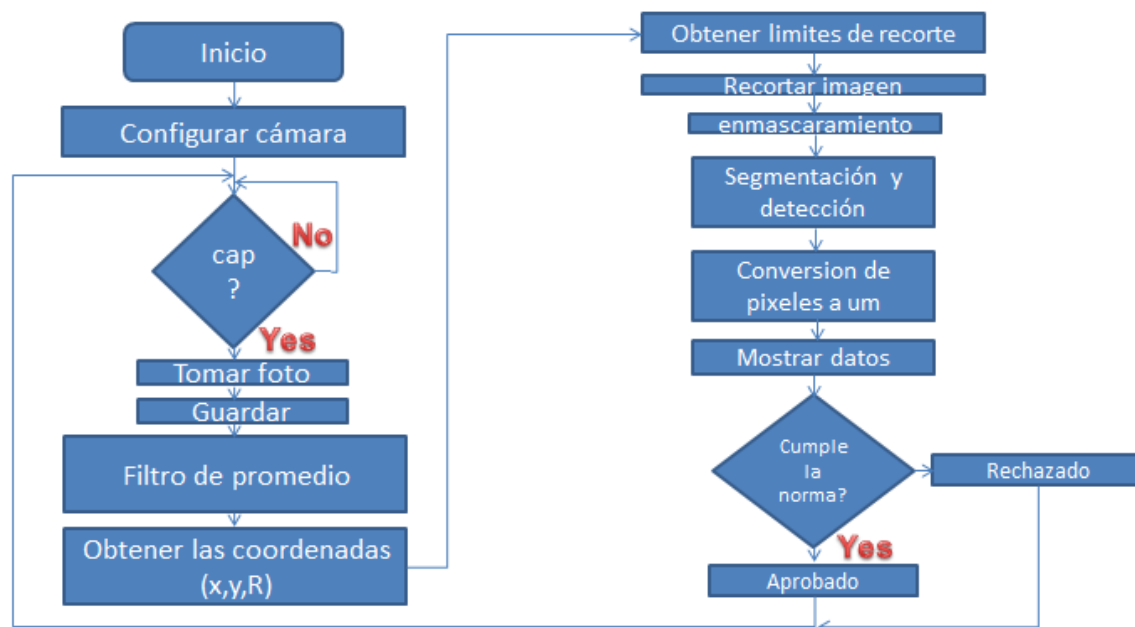


Fuente: Autor

4.6 Desarrollo de algoritmo basado en umbralización adaptativa

Los pasos secuenciales de ejecución de este algoritmo son iguales a los del algoritmo anterior pero difieren en la técnica utilizada para la detección de las impurezas. En este algoritmo ya no existe imagen patrón, se analiza únicamente la imagen objeto de estudio y por la técnica utilizada permite mayor eficiencia al momento de detectar las impurezas. El diagrama de flujo del algoritmo planteado se presenta en la figura 24.

Figura 24. Diagrama de flujo algoritmo basado en umbralización adaptativa

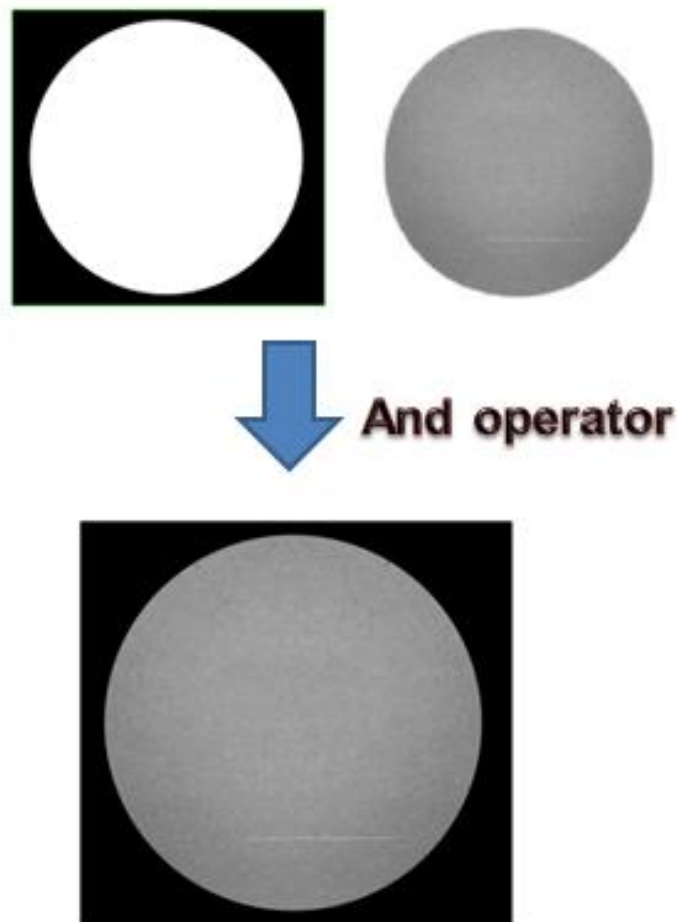


Fuente: Autor

La secuencia de pasos de configuración, carga, recorte de la imagen a ser tratada es la misma del algoritmo por comparación de histogramas pero una vez recortada y normalizada la imagen se introduce un nuevo paso denominado enmascaramiento ya que la región de contacto externa a la zona del revestimiento de la fibra es de color blanco. Si se aplica el algoritmo para detectar las impurezas claras, la región de contacto será tomada en cuenta como una impureza y se entorpece el análisis, por esto es necesario enmascarar la imagen para centrar el análisis en la región de interés.

El proceso consiste en generar una matriz de color negro (nivel de intensidad 0) en su totalidad del mismo tamaño de la imagen a ser tratada ya normalizada, y dibujar sobre esta máscara un círculo de color blanco (nivel de intensidad 1) con las mismas coordenadas entregadas por la transformada de Hough y finalmente realiza una operación lógica AND entre la máscara y la imagen, el resultado obtenido se muestra en la figura 25.

Figura 25. Enmascaramiento de la imagen

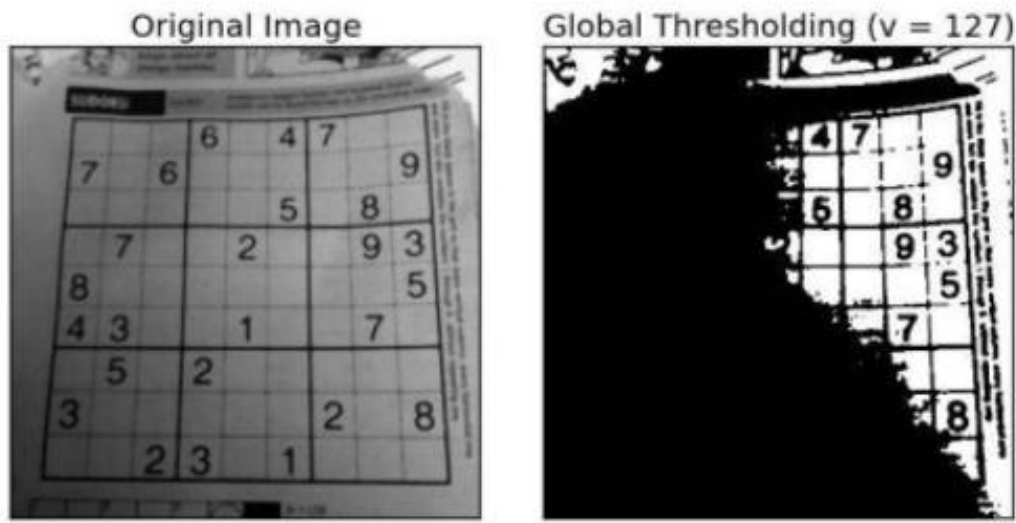


Fuente: Autor

Una vez enmascarada la imagen se procede a realizar la umbralización de la imagen con el fin de segmentarla e identificar las impurezas.

La umbralización consiste en definir un punto umbral o threshold para llevar la imagen de formato escala de grises a una representación binaria, los pixeles con valor de intensidad igual o superior al valor del umbral adquieren el valor de 255 correspondiente a la intensidad del color blanco y los que se encuentren por debajo de dicho valor adquieren el valor de 0 correspondiente al negro.

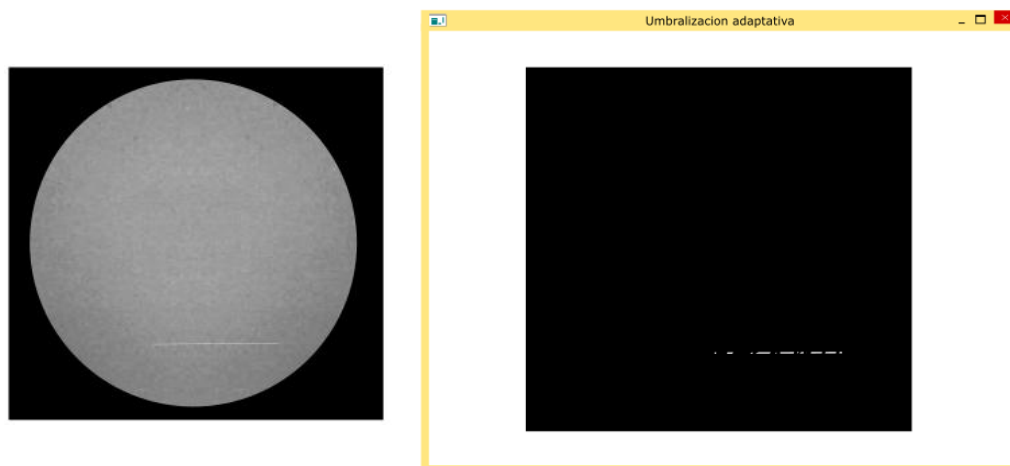
Figura 26. Umbralización global de una imagen con threshold de 127



Fuente: https://docs.opencv.org/3.3.0/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html

Como se puede observar en la figura 26 el proceso de umbralización no es muy efectivo cuando la imagen presenta condiciones difíciles de luminosidad, es decir que no es la misma para toda la imagen, se presenta pérdida de información importante y en esta aplicación es crítico. Este problema se puede corregir haciendo uso de una técnica denominada umbralización adaptativa, que consiste en tomar una vecindad de píxeles alrededor de un píxel de interés y promediar los valores de intensidad de cada uno con el fin de definir umbrales locales y ya no tener uno solo global, de esta manera se soluciona el inconveniente. Aplicando umbralización adaptativa a la imagen objeto de análisis se obtuvo este resultado

Figura 27. Umbralización adaptativa aplicada a la imagen enmascarada



Fuente: Autor

Una vez umbralizada la imagen se aplica una función de detección de objetos incluida en la librería open CV, basada en la detección de color, ya que se tiene una imagen binaria se restringe a que se detecten únicamente los objetos con intensidad 255 y la función entrega las coordenadas del vértice superior izquierdo, largo y ancho de la impureza. Estos valores son claves para evaluar la norma y decidir si se aprueba o reprueba la inspección.

4.5.1 Detección de impureza pit

Para detectar un círculo se evalúa si el ancho de la impureza es aproximadamente equivalente al alto o viceversa con una tolerancia de 10px.

4.5.2 Detección de scratches de más de 40um

El revestimiento del núcleo para mono modo es de 120um de diámetro, haciendo la equivalencia a pixeles, esos 120 um en la imagen representa 400px por lo que se hace una regla de 3 para obtener la equivalencia del punto crítico de 40um según la norma para que los scratches no pasen la inspección

$$\frac{120\mu m}{40\mu m} = \frac{400px}{X} \quad (3)$$

Siendo X el equivalente en pixeles a los 40 μm , longitud crítica para evaluar el scratch.

4.5.3 Detección si la impureza toca al núcleo

De igual manera teniendo un diámetro de la imagen de 400px se calcula la equivalencia del radio del núcleo en pixeles, correspondiente a 12 μm , dando como resultado 41,65px los cuales se suman y restan a las coordenadas del centro de la imagen con el fin de delimitar un rango en el cual no puede estar la impureza.

$$\frac{120\mu m}{12\mu m} = \frac{400px}{X} \quad (4)$$

Siendo X= 41,65 el equivalente en pixeles a los 12 μm de radio del núcleo para mono modo.

Para las impurezas oscuras se hace de igual manera.

Finalmente se toman los datos obtenidos de las impurezas y se agrupan en una tabla para presentarlos gráficamente al operario al igual que un mensaje en pantalla con el veredicto de la inspección.

4.7 Interfaz de usuario del software

La interfaz planteada diseñada en Lidlipse para la aplicación consta de 3 ventanas, la primera es la ventana de apertura y de presentación donde se muestran los logos de la empresa Microlink y del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, además de la información del autor. Se presentan 3 botones con las funciones de iniciar medición, pasar al siguiente conector y finalizar la medición organizados de izquierda a derecha respectivamente como se muestra en la figura 28.

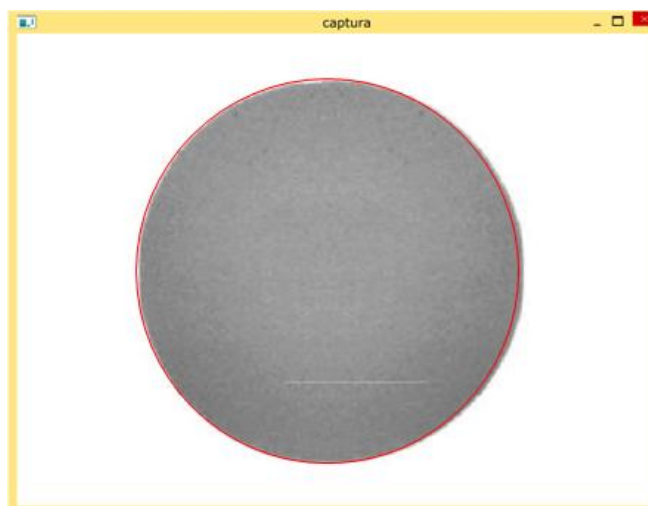
Figura 28. Ventana principal de la interfaz de usuario del sistema



Fuente: Autor

Una vez el operario da click en el botón Iniciar aparece la segunda ventana, correspondiente a la visualización de la cámara en tiempo real con un círculo rojo de guía en el centro, la función del círculo es la de orientar al operario en que región debe ubicar la cámara para tener una imagen centrada y siempre del mismo tamaño. Cuando esta ventana está abierta y una vez se ha ubicado la cámara correctamente frente al monitor del microscopio siguiendo la guía, el operario procede a presionar la tecla “espacio” del computador, acción que es interpretada por el algoritmo y realiza la captura de la imagen.

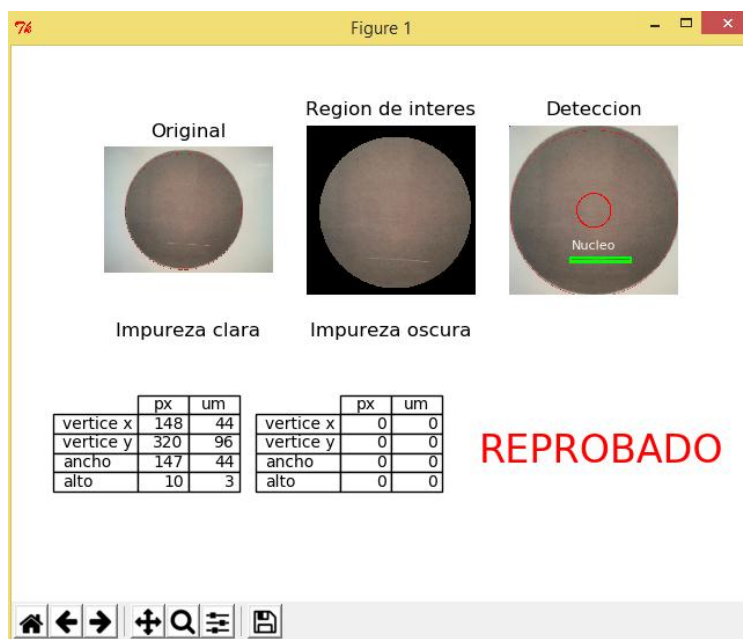
Figura 29. Ventana de visualización de la cámara



Fuente: Autor

Una vez se captura la imagen el algoritmo entra en ejecución y en un periodo no superior a 3 segundos aparece la última ventana de presentación de datos y resultados. En esta ventana se muestran la imagen original, la región de interés, las impurezas detectadas y los parámetros de dichas impurezas separados en dos tablas, una para la detección de impurezas claras, otra para impurezas oscuras y finalmente un letrero aprobación o rechazo según el análisis hecho por el algoritmo.

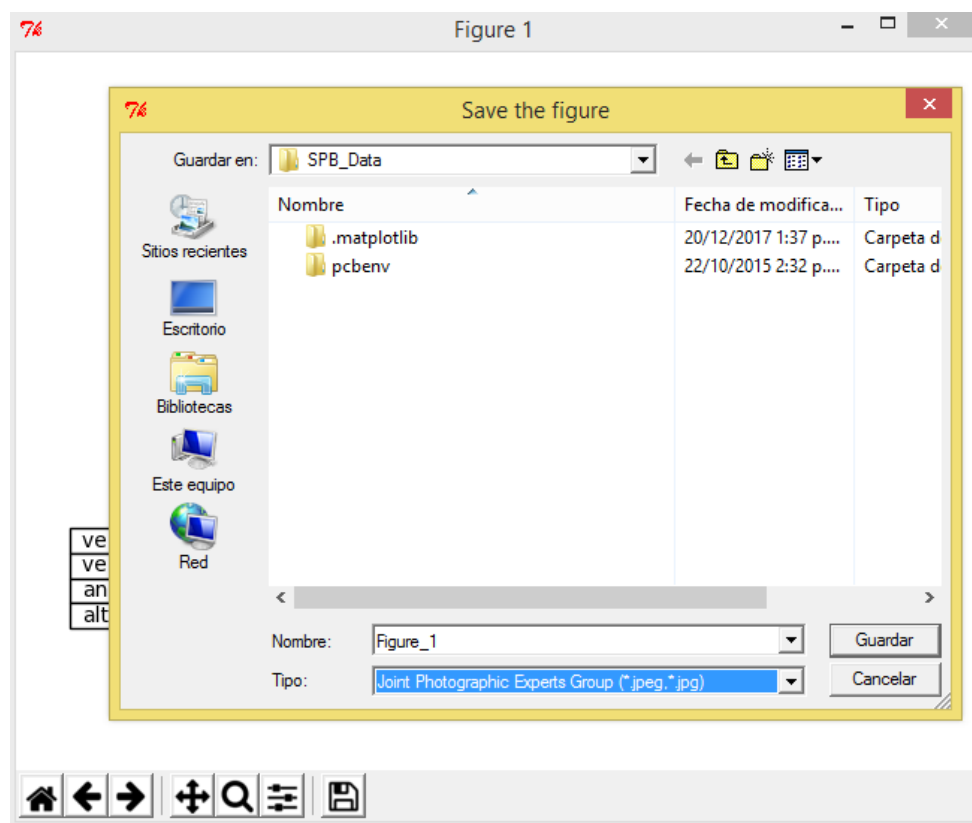
Figura 30. Ventana de presentación de datos y resultados



Fuente: Autor

Adicionalmente, la ventana cuenta con 7 botones en la parte inferior izquierda correspondientes a las acciones de: Volver a la configuración de visualización estándar, regresar un paso, adelantar un paso, mover los graficos, ampliar, modificar gráficos y finalmente guardar. Si se desea guardar la imagen aparece una ventana emergente en la cual se puede escoger la ruta donde se desea guardar, el tipo de formato y el nombre del archivo.

Figura 31. Ventana emergente de guardado



Fuente: Autor

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 Análisis de tiempos

Se tuvieron en cuenta dos aspectos principales para evaluar la efectividad del sistema implementado, uno de ellos es el tiempo que tarda el sistema en realizar la inspección comparado con el tiempo que le lleva el mismo proceso al técnico de producción del laboratorio y el segundo aspecto es el número de aciertos del sistema una vez fue implementado y probado.

Cabe resaltar que para la medición del tiempo que tardan tanto el técnico de producción como el sistema en realizar la inspección se tuvo en cuenta el proceso de inserción del conector al adaptador del microscopio y el tiempo que se tarda en realizar el enfoque de la imagen del mismo, es decir las mediciones de tiempo se realizaron a partir del momento en que se toma el patch cord a analizar.

Tabla 2. Tiempo de inspección técnico de producción vs. Sistema de visión artificial

Tiempo de inspección (técnico vs sistema de visión artificial)		
Numero de muestras	Tiempo Técnico de producción (s)	Tiempo Sistema de V.A (s)
1	19,62	26,5
2	14,23	27,64
3	16,78	23,12
4	11,7	22
5	12,54	22,34
6	19,65	21,15
7	19	24,9
8	10,86	22,88
9	18,64	30
10	16,53	27,4
11	12,22	24,1
12	15,98	23,89
13	17,02	24,56
14	13,14	25,64
15	16,1	27,9
Tiempo Promedio	15,60066667	24,93466667

Fuente: Autor

Como se observa en la tabla 2 el tiempo promedio que tarda un técnico de producción en realizar la inspección visual de un conector es de 15,6 segundos y el tiempo promedio que tarda el proceso de inspección usando el sistema de visión artificial es de 24,934 segundos, esto es debido a que el uso de este sistema tiene un paso adicional en el proceso, el cual consiste en ubicar la imagen del microscopio según la guía de referencia que presenta el sistema en el monitor del computador para garantizar que la imagen quede totalmente centrada.

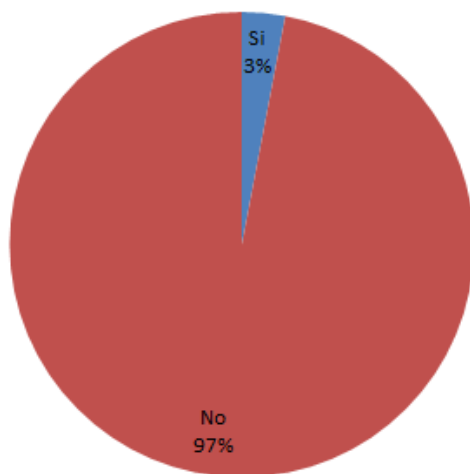
Esta situación explica el tiempo que se adiciona al proceso, sin embargo hay que analizar que cuando existe un descuido o el técnico deja pasar algún conector que no cumple las condiciones de la inspección y el cliente lo devuelve, el proceso de reconectorización o reinspección no solo implica más tiempo para el laboratorio de producción sino que implica más costos.

5.2 Análisis de eficiencia del sistema

Para realizar el análisis de eficiencia del sistema se llevó a cabo un proceso de medición de 100 conectores con el fin de verificar en cuantos de los casos el sistema acertó en la verificación del conector y detectó correctamente las impurezas. La prueba se realizó para evaluar la eficiencia de los dos algoritmos diseñados e implementados, por comparación de histogramas de la imagen y por umbralización adaptativa, los datos obtenidos se presentan en la figura 32

Figura 32. Porcentaje de aciertos algoritmo basado en comparación de histogramas

Porcentaje de aciertos del sistema para 100 mediciones



Fuente: Autor

Figura 33. Porcentaje de aciertos algoritmo basado en umbralización adaptativa



Fuente: Autor

Según se muestra en la figura 32 el algoritmo basado en la comparación de histogramas tiene una eficiencia muy baja del 3% debido a que esta técnica es demasiado sensible a las condiciones lumínicas del ambiente, por ejemplo si la imagen patrón es tomada a las 8 am y la imagen que del conector que se desea inspeccionar es adquirida a las 4pm la condición de luminosidad de las dos imágenes es totalmente distinta lo cual genera un desfase en la comparación de los dos histogramas de las imágenes.

Adicionalmente si por ejemplo la imagen patrón tiene una impureza scratch aceptable por la norma en orientación vertical y la imagen a procesar posee la impureza pero con orientación horizontal, se debe realizar una rotación gradual de cualquiera de las dos imágenes 360 grados lo cual aumenta el costo computacional y no garantiza éxito en la medición.

Finalmente si se desea detectar una variedad de impurezas se debe tener una base de datos de imágenes patrón muy grande y el resultado solo va a ser el nivel de similitud de la imagen adquirida comparada con las imágenes patrón pero no se puede evaluar las dimensiones de las impurezas ni la posición en la que se encuentran, por estos motivos el algoritmo basado en la comparación de histogramas fue descartado.

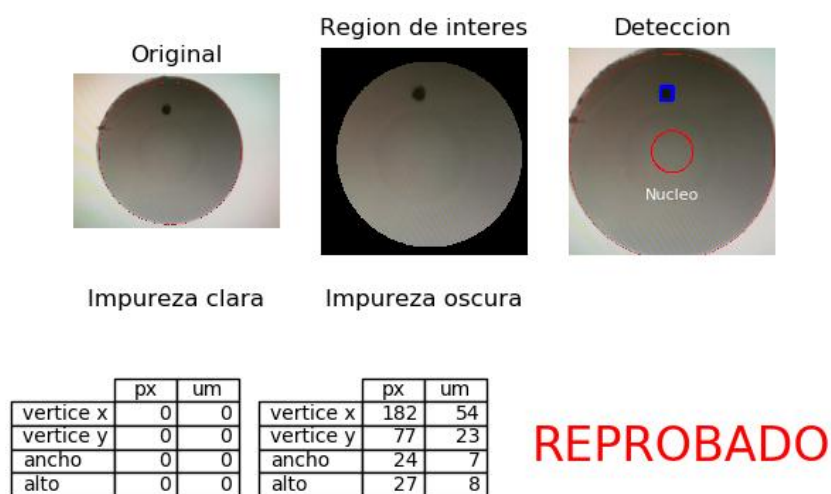
Como se observa en la figura 33 el porcentaje de acierto del sistema de visión artificial con el algoritmo basado en umbralización adaptativa es del 95 % un valor que da gran certeza a la hora de realizar una inspección. El valor del 5 % de desacierto se debe a que en algunos casos muy específicos cuando los scratches presentados en el conector son muy tenues el sistema no los logra detectar debido a la resolución de la cámara utilizada.

Si se compara el proceso de inspección humana con la inspección del sistema de visión artificial este último es muy superior a nivel de confiabilidad ya que usa variables cuantitativas como las dimensiones de las impurezas y su posición dentro de la imagen para evaluar la norma CEI 61300-3-35 descrita anteriormente en este documento lo cual en la mayoría de casos resulta imposible para el ser humano a simple vista.

Adicionalmente el sistema presenta una gran ventaja ya que permite la generación de un reporte que contiene los parámetros de las impurezas detectadas en el conector, reporte que se entrega al cliente junto con las demás pruebas que se realizan en el laboratorio de la empresa (pruebas de inserción y retorno IL/RL y pruebas de interferometría)

En las figuras 34, 35, 36, 37, 38 y 39 se presentan algunos de los reportes generados durante las pruebas realizadas a conectores reales de patch cords fabricados en el laboratorio, en los cuales se lograron identificar las principales impurezas (pits, scratches, bordes y rupturas).

Figura 34. Detección de pit oscuro, dimensiones 5x8 μm



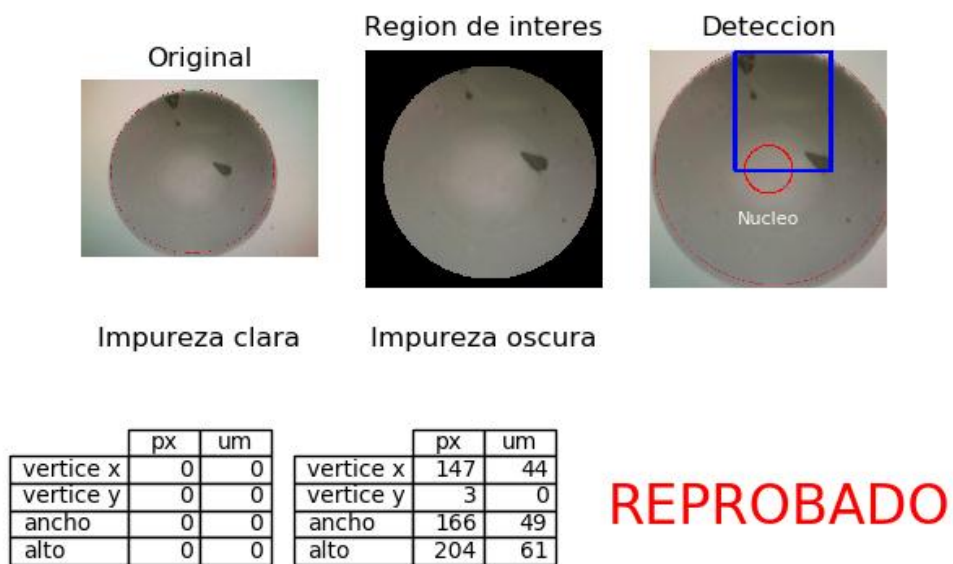
Fuente: Autor

Figura 35. Detección de pit claro, dimensiones 1x1 μm



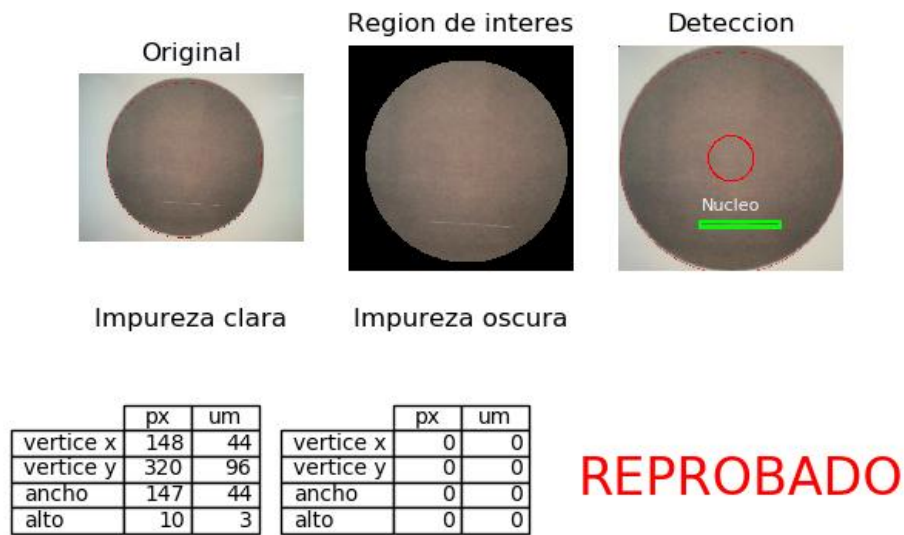
Fuente: Autor

Figura 36. Detección conjunto de impurezas oscuras, dimensiones 49x61 μm



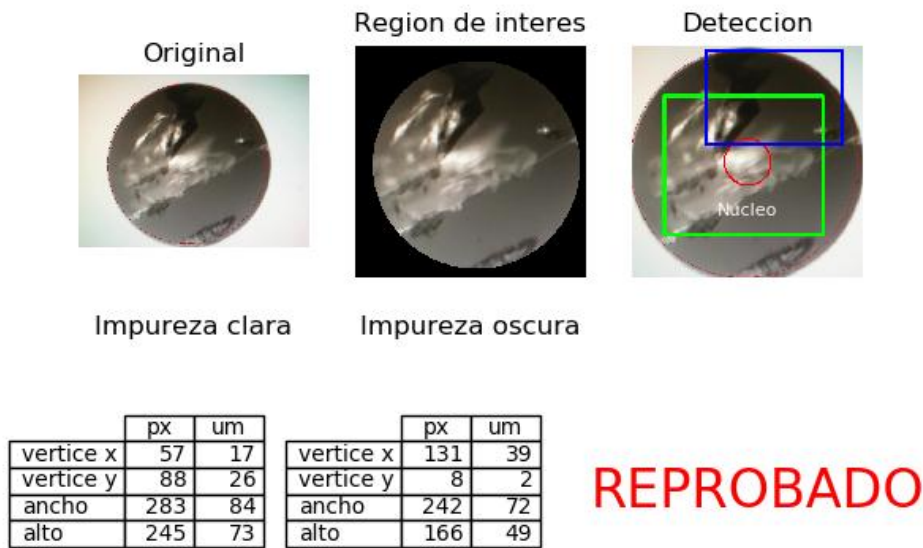
Fuente: Autor

Figura 37. Detección de scratch, dimensiones 44x3 μm



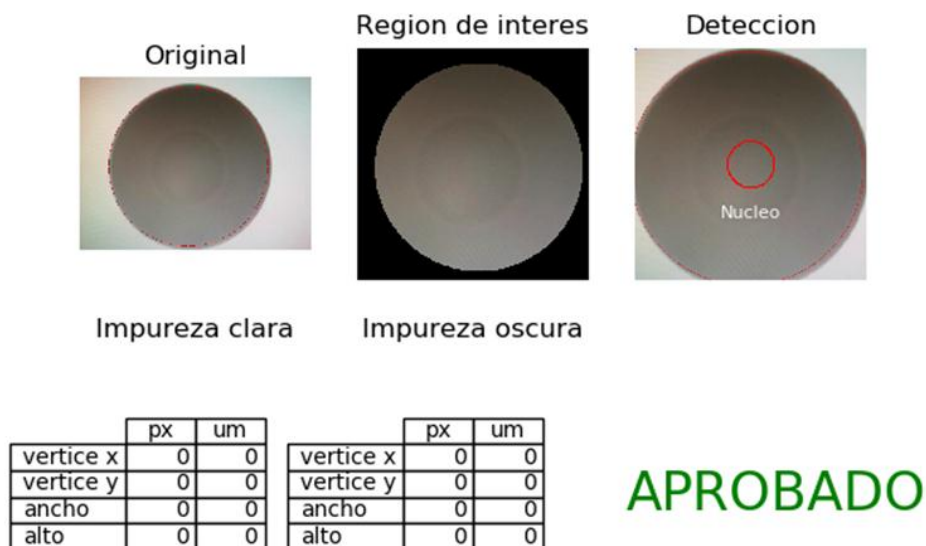
Fuente: Autor

Figura 38. Detección de conector roto, dimensiones 72x49 μm



Fuente: Autor

Figura 39. Detección de conector en perfectas condiciones, diagnóstico aprobado, sin detección de impureza alguna



Fuente: Autor

6. CONCLUSIONES

El algoritmo basado en umbralización adaptativa fue la mejor solución al problema de la detección de las impurezas en los conectores de los patchcords de fibra óptica ya que usa una técnica de umbralización sectorizada que sirve para binarizar imágenes de condiciones de luminosidad difíciles o muy variables y presenta una eficiencia del 95% en el proceso de inspección probado en el laboratorio de producción de la empresa.

El sistema desarrollado presenta una interfaz de usuario simple y de fácil uso que busca que el proceso de inspección sea realizado en el menor tiempo y con la mayor eficiencia posible.

El uso de software libre en la realización del proyecto representó una ventaja económica para la empresa ya que la mayoría de herramientas de software para procesamiento de imágenes tienen una licencia de alto costo para aplicaciones industriales y comerciales.

El nivel de desacierto del sistema implementado se debe a características físicas del sensor de imagen como la resolución, a perturbaciones ambientales pero a pesar de estas condiciones entrega un error muy bajo que lleva a demostrar la efectividad del sistema.

El desarrollo de este proyecto es clara evidencia del gran campo de acción de los ingenieros electrónicos, capaces de solucionar necesidades en ámbitos domésticos, industriales, agrícolas, entre muchos más.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa financiadora realizar la inversión para adquirir un sistema basado en el uso de una micro cámara de alta resolución que permita aislar la medición de factores ambientales como la luminosidad que puede entorpecer el proceso.

Adicionalmente si se desea una mayor complejidad de la interfaz gráfica de usuario y de los formatos para manejar los reportes de datos se recomienda la adquisición de una licencia de otro software de procesamiento como Matlab® que además de poseer más herramientas para el entorno gráfico presenta una mayor compatibilidad con los dispositivos como cámaras, smartphones, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Visión Artificial [en línea], 2010 [revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- ² COGNEX COMPANY, Introducción a la visión artificial una guía para la automatización de procesos y mejoras de calidad [revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf
- ³ GONZALEZ, R.C. y R.E. WOODS. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2001. Pág: 37-38
- ⁴ ARTIGAS M JOSÉ, CAPILLA PASCUAL y PUJOL JAUME. Tecnología del color, Els autors, Valencia, 2002. Pág. 32
- ⁵ CUENCA CASTILLO PEDRO ANGEL. Codificación y transmisión robusta de señales de video MPEG-2 de caudal variable sobre redes de transmisión asíncrona ATM, Universidad de Castilla la Mancha, colección tesis doctorales , 1998. Pág. 66. [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://books.google.com.co/books?id=8CMEBAnjVGgC&pg=PA66&dq=formato+rgb&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwih6v7O3NbaAhVuk-AKHcZdBE8Q6AEIJzAA#v=onepage&q=formato%20rgb&f=false>
- ⁶ MONZÓN MARCELO, Retoque fotográfico desde cero, Editorial A todo color, Pág. 22-23. [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://books.google.com.co/books?id=O8tN4J-ErTYC&pg=PA23&dq=formato+CMY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8r4XW8ODaAhUvuVvKHSfgBfYQ6AEIMzAC#v=onepage&q=formato%20CMY&f=false>, Pág. 22-23
- ⁷ Historia del proyector de video de lo analógico a lo digital, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://eikonos.com/blog/historia-del-proyector-de-video-de-lo-analogico-lo-digital/>
- ⁸ Thomas Edison y la patente del primer proyector de cine, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.telesurtv.net/news/Thomas-Edison-y-la-patente-del-primer-proyector-de-cine-20160821-0020.html>
- ⁹ GONZALEZ, R.C. y R.E. WOODS. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2001. Pág. 46
- ¹⁰ Conozca más acerca de los cordones de fibra óptica (patchcords), Praxtel Telecomunications. Pág. 1-5
- ¹¹ LEE HL BERNARD, Conector de fibra óptica Higiene, Libro Blanco, Senko Advanced components [revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: http://www.senko.com/es/technical/pdf/Fiber%20Optic%20Connector%20Hygiene_Esp.pdf
- ¹² Norma IEC 61300-3-35, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.c3comunicaciones.es/la-norma-iec-61300-3-35/>
- ¹³ Mathworks, Image Processing toolbox, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: https://la.mathworks.com/products/image-processing-toolbox.html?adobe_mc_ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com.co%2F
- ¹⁴ LOBOS EDITH, GIBELLI TATIANA, BERTONE RODOLFO, Programación Estructurada en un Curso Introductorio, una Experiencia Explorando Python, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/50639/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- ¹⁵ OPEN CV™, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://opencv.org/>
- ¹⁶ LICLIPSE™, [Revisado Abril 29 de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.liclipse.com/>

INFOGRAFÍA

https://www.researchgate.net/figure/Simplified-cross-section-of-the-human-eye-Gonzalez-Wood-74_fig23_322748447

<https://hisour.com/es/rgb-color-model-24867/>

<https://books.google.com.co/books?id=O8tN4J-ErTYC&pg=PA23&dq=formato+CMY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8r4XW8ODaAhUvuVkKHSfgBfYQ6AEIMzAC#v=onepage&q=formato%20CMY&f=false>, Pág. 22

<https://books.google.com.co/books?id=O8tN4J-ErTYC&pg=PA23&dq=formato+CMY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8r4XW8ODaAhUvuVkKHSfgBfYQ6AEIMzAC#v=onepage&q=formato%20CMY&f=false>, Pág. 23

<http://blog.kleinproject.org/?p=588>

<https://stackoverflow.com/questions/11164974/r-plot-filled-longitude-latitude-grid-cells-on-map>

<http://www.glyptodont.com/span/photocs5/glyptodon/clase01/main04.htm>

GONZALEZ, R.C. y R.E. WOODS. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2001. Pág. 46

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cordones-fibra-optica-patchcords/cordones-fibra-optica-patchcords.pdf>, pág. 5

http://www.senko.com/es/technical/pdf/Fiber%20Optic%20Connector%20Hygiene_Esp.pdf Pág. 8

<https://www.domailleengineering.com/products/microscopes/de2503.php>

<https://www.amazon.com/Microsoft-LifeCam-HD-6000-Notebooks-7PD-00008/dp/B009KG9FUQ>

https://docs.opencv.org/3.3.0/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html

ANEXO A (Código de programación implementado)

```
import cv2
import numpy as np
import time
import msvcrt
from matplotlib import pyplot as plt
import pylab as plt
import matplotlib as mpl
import matplotlib.pylab as plt
from matplotlib._cm import _Accent_data
from matplotlib.testing.compare import compare_images
from matplotlib.pyplot import subplot, figtext
from matplotlib.rcsetup import validate_fontsize
from setuputils.command.rotate import rotate
from matplotlib.animation import adjusted_figsize
from numpy.core.fromnumeric import size
from test import double_const
from Tkinter import *
from _imaging import font
from cv2 import WINDOW_AUTOSIZE, destroyWindow, destroyAllWindows
def Next():
    destroyWindow('captura')
    plt.close()
    Aceptar()
def Exit():
    destroyAllWindows()
    sys.exit(1)
def Aceptar():
    cap = cv2.VideoCapture(4)
    kernel=np.ones((1,1),np.uint8)
    control=5
    while control<100:
        ret,frame = cap.read()
        cv2.circle(frame,(300,250),220,(0,0,255), 1);
        cv2.namedWindow('captura',WINDOW_AUTOSIZE)
        cv2.imshow('captura',frame);
        if cv2.waitKey(1)&0xFF == ord(' '):
            cv2.imwrite('prueba.jpg',frame)
            img= cv2.imread('prueba.jpg')

            #deteccion de circulos
            src = cv2.medianBlur(img, 5)
            src = cv2.cvtColor(src, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
            #cv2.imshow('Filtro de media blur',src);
            circles = cv2.HoughCircles(src, cv2.HOUGH_GRADIENT, 1, 20,
            param1=4, param2=100, minRadius=180, maxRadius=0)
            print(circles)
```

```

"""circles = np.uint16(np.around(circles))"""
if circles is None:
    continue

rgb= cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
gris=cv2.cvtColor(rgb, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
xinf= (((((circles[0])[0])[0])-(((circles[0])[0])[2]))-10
xsup= xinf+20+((((((circles[0])[0])[2]))*2)
yinf= (((((circles[0])[0])[1])-(((circles[0])[0])[2]))-10
ysup= yinf+20+((((((circles[0])[0])[2]))*2)
recorte= rgb[yinf:ysup, xinf :xsup]
recorte= cv2.resize(recorte, (410, 410))
recorteoscuras= recorte
mask=np.zeros(recorte.shape,dtype="uint8")
cv2.circle(mask,(215,210),184,(255,255,255), -1);
recortemask=cv2.bitwise_and(recorte, mask)
recortegray=cv2.cvtColor(recortemask, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
#cv2.imshow('enmascarada', recortegray)
# umbral adaptable
gray = cv2.medianBlur(recortegray, 1)
    dst2 = cv2.adaptiveThreshold(recortegray, 255, cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C,
        cv2.THRESH_BINARY, 11, -15)
cv2.circle(dst2,(215,210),184,(0,0,0), 3);
#cv2.imshow('umbral adaptable', dst2)
ret2,thresh1 = cv2.threshold(dst2,250,255,cv2.THRESH_BINARY)
rangomax=np.array([255])
rangomin=np.array([220])
mascara=cv2.inRange(thresh1,rangomin,rangomax)
opening=cv2.morphologyEx(mascara,cv2.MORPH_CLOSE,kernel)
x,y,w,h=cv2.boundingRect(opening)
xu=(x*120)/400
yu=(y*120)/400
wu=(w*120)/400
hu=(h*120)/400
print('vertice x',x)
print('vertice y',y)
print('ancho',w)
print('alto',h)
Si=0
No=0
etiquetas=['si','no']
colores=['white','white']
"""detectar si es un circulo"""
proporcionmas= w-h
proporcionmenos= h-w
"""detectar si toca el nucleo"""
"""calculo del centro de la impureza"""
xcentroimp=((x+(w/2)))

```

```

ycentroimp=((y+(h/2)))
subplot(2,3,4)
ax=plt.gca()
col_labels=['px','um']
row_labels=['vertice x','vertice y','ancho','alto']
table_vals=[[x,xu],[y,yu],[w,wu],[h,hu]]
# the rectangle is where I want to place the table
the_table = plt.table(cellText=table_vals,
                      colWidths = [0.3]*3,
                      rowLabels=row_labels,
                      colLabels=col_labels,
                      loc='center')

plt.title('Impureza clara')
plt.axis('off')

subplot(2,3,5)
ax2=plt.gca()
#plt.plot([10,10,14,14,10],[2,4,4,2,2], 'r')
col_labels2=['px','um']
row_labels2=['vertice x','vertice y','ancho','alto']
table_vals2=[[xo,xuo],[yo,yuo],[wo,wuo],[ho,huo]]
# the rectangle is where I want to place the table
the_table2 = plt.table(cellText=table_vals2,
                      colWidths = [0.3]*3,
                      rowLabels=row_labels2,
                      colLabels=col_labels2,
                      loc='center')

plt.title('Impureza oscura')
plt.axis('off')

subplot(2,3,6)
etiquetas=['si','no']
porcentaje =[0,0]
colores=['green','red']
plt.pie(porcentaje, colors=colores)
if No or Noo ==100:
    plt.text(-1.7, -0.25, 'REPROBADO',{ 'color': 'r', 'fontsize': 24})

else:
    plt.text(-1.7, -0.25, 'APROBADO',{ 'color': 'g', 'fontsize': 24})

plt.show()

```

```

ventana =Tk()
ventana.title("Deteccion de impurezas en conectores de fibra optica")
ventana.geometry("700x400+0+0")
ventana.config(bg="white")
ml = PhotoImage(file="ml.gif")
uptc= PhotoImage(file="uptc.gif")
lbimagen = Label(ventana, image=ml).place(x=100,y=60)
lbuptc = Label(ventana, image=uptc).place(x=400,y=30)
nombre= Label(text="ALGORITMO PARA LA DETECCION DE IMPUREZAS EN CONECTORES DE FIBRA
OPTICA POR MEDIO DE VISION ARTIFICIAL",font=("Arial",9),bg="white").place(x=0,y=250)
creditos= Label(text="Creado por: Yhardany Sotelo Sepulveda, todos los derechos
reservados",font=("Arial",9),bg="white").place(x=0,y=370)
boton= Button(ventana, command=
Aceptar,text="Iniciar",font=("Arial",18),bg="green").place(x=120,y=300)
boton2= Button(ventana, command=
Next,text="Siguiente",font=("Arial",18),bg="Blue").place(x=300,y=300)
boton3= Button(ventana, command=
Exit,text="Salir",font=("Arial",18),bg="Red").place(x=520,y=300)
ventana.mainloop()

```